ISTITUTO TECNICO STATALE COMMERCIALE, INDUSTRIALE E PER GEOMETRI

"Luigi Einaudi"

MONTEBELLUNA (TV)

TESI PER L'ESAME DI STATO:

Centralina meteorologica per la rilevazione di umidità relativa, pressione atmosferica e temperatura e visualizzazione su display a quattro cifre predisposta per la trasmissione dei dati ad una postazione remota

Svolta dai candidati:

- **Boldrin Alberto**
- **Bolzonello Stefano**

Classe: **5ª A I.T.I.S.**

Indirizzo: **Elettronica e Telecomunicazioni**

Anno scolastico: **2002/2003**

Indice

Considerazioni generali

La richiesta relativa al progetto è stata avanzata dalla cooperativa agricola “Il carro” tramite lettera consegnataci in data 10 aprile 2003 che viene integralmente riportata di seguito.

Cooperativa agricola “Il carro”
Via della Libertà, 85/A
20100 Milano (MI)
Tel. 02-586432
Fax 02-45874465

Milano, 10 Aprile 2003

Spett. Double Bol
Via Commercianti, 45/B
30100 Venezia (VE)
All'attenzione di:
Alberto Boldrin e
Stefano Bolzonello

OGGETTO: Richiesta di preventivo per la progettazione e realizzazione di n° 10 centraline meteorologiche.

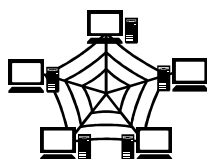
Egregi Boldrin e Bolzonello,

mi rivolgo a Voi per richiedere un preventivo per la progettazione e realizzazione di n° 10 centraline meteorologiche per la rilevazione di temperatura, pressione atmosferica e umidità. I range di misurazione richiesti per le tre grandezze vengono sottoriportati:

Temperatura	-20 °C -- 50 °C
Pressione atmosferica	0 bar -- 1,2 bar
Umidità	10% -- 90%

Non è necessaria un'eccessiva precisione per il campo d'applicazione del dispositivo.
I dati rilevati devono essere visualizzati singolarmente sul posto di rilevazione attraverso l'utilizzo di un display, ognuno per un tempo di 3 secondi.
Il costo di tale dispositivi non deve complessivamente superare i 1600 € comprese la progettazione e le varie fasi esecutive.
In attesa di una vostra cortese e celere risposta Vi porgiamo distinti saluti.

Il responsabile
Mario Rossi

In data 15 aprile 2003 i sottoscritti, su carta intestata, rispondono al sig. Rossi per l'accettazione dell'incarico.

Double Bol
Via Commercianti, 45/B
30100 Venezia (VE)
Tel. 037-586252
Fax 037-58586494

Venezia, 15 Aprile 2003

Spett.le Cooperativa agricola “Il carro”
Via della Libertà, 85/A
20100 Milano (MI)

OGGETTO: Risposta alla richiesta di preventivo per la progettazione e realizzazione di n° 10 centraline meteorologiche.

Egregio sig. Rossi,
a seguito della VS richiesta, siamo lieti di accettare l'incarico assegnataci cercando di di seguire tutte le specifiche di progetto che ci ha indicato. In caso contrario l'informeremo in fase di progettazione. Ringraziandola della fiducia dataci le porgiamo distinti saluti.

I dirigenti della Double Bol
Bolzonello, Boldrin

Analisi delle richieste di progetto

Al fine di analizzare al meglio le richieste di progetto assegnataci sono state raccolte alcune informazioni riguardanti:

- umidità;
- pressione atmosferica;
- temperatura.

Umidità

Si dice umidità la quantità di vapore acqueo presente nell'aria. La quantità limite che può essere trattenuta da una massa d'aria è detta quantità di saturazione. Si distinguono:

1. *Umidità relativa*, che è il rapporto tra la quantità di vapore contenuta ad una data temperatura e la quantità necessaria per la saturazione; viene espressa in percentuale. L'aria satura ha un'umidità relativa del 100%.
2. *Umidità specifica*, che è la massa di vapore acqueo espressa in grammi contenuta in 1 kg di aria.
3. *Umidità assoluta*, che è la quantità di vapore espresso in grammi per metro cubo di aria.

Le variazioni di umidità nell'atmosfera possono essere determinate dall'evaporazione, che provoca un aumento del contenuto del vapore acqueo nell'atmosfera, e dai cambiamenti della temperatura: al diminuire della temperatura aumenta infatti l'umidità relativa poiché si abbassa il livello di saturazione (viceversa all'aumentare della temperatura diminuisce l'umidità relativa e l'aria diventa più secca. L'umidità varia con la latitudine; l'evaporazione è elevata all'equatore ed aumenta in corrispondenza delle zone tropicali e subtropicali aride oltre le quali diminuisce verso i poli con modalità diverse sui continenti e sugli oceani. L'umidità relativa presenta valori elevati in corrispondenza dell'equatore e oltre il 50° parallelo, bassi nelle zone tropicali. Il vapore acqueo circola nell'atmosfera seguendo i movimenti delle masse d'aria nelle quali è contenuto. Esistono variazioni di umidità periodiche distinguibili in tipo oceanico (che presentano un minimo al mattino ed uno nel pomeriggio) e tipo desertico (con un massimo al mattino ed uno nel pomeriggio). Le variazioni annue di umidità assoluta seguono le variazioni della temperatura con valori minimi in inverno e maggiori in estate quando l'aria è in grado di contenere una maggiore quantità di vapore. L'oscillazione diurna raggiunge il massimo nelle prime ore del mattino ed un minimo nel pomeriggio seguendo il ciclo inverso a quello delle temperature; quella mensile varia in relazione alle condizioni del clima.

APPROFONDIMENTO

Misura dell'umidità con tecniche non elettroniche

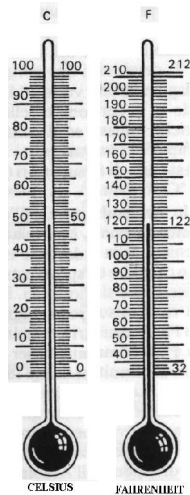
La misura dello stato igrometrico dell'aria prima, di vari gas e vapori in numerose industrie poi, è un problema che interessa gli studiosi da circa quattro secoli; e gli apparecchi che allo scopo sono stati studiati sono ormai alcune centinaia. I principi ai quali gli apparecchi furono ispirati sono a loro volta qualche decina, ma nella pratica soltanto un limitato numero ne è utilizzato. Gli apparecchi teoricamente più rigorosi sono basati sulla misura diretta del vapore acqueo contenuto in un determinato volume d'aria: essi sono chiamati igrometri chimici o a volume. Tali apparecchi consistono in una serie di recipienti intercomunicanti, in genere tubi a U, riempiti di sostante igroscopiche. A mezzo di un aspiratore si fa passare una corrente di gas o vapore che si vuole esaminare, in generale aria, attraverso la serie di tubi; un contatore misura l'aria passata. La differenza di peso dei tubi contenenti le sostanze essiccanti, prima e dopo il passaggio della corrente, è data dal vapore acqueo che essa conteneva. Gli igrometri di questo tipo hanno il solo inconveniente di richiedere manipolazioni lunghe e delicate, e pertanto sono quasi esclusivamente usati per campionare altri tipi d'igrometri di cui non si conosce la teoria rigorosa.

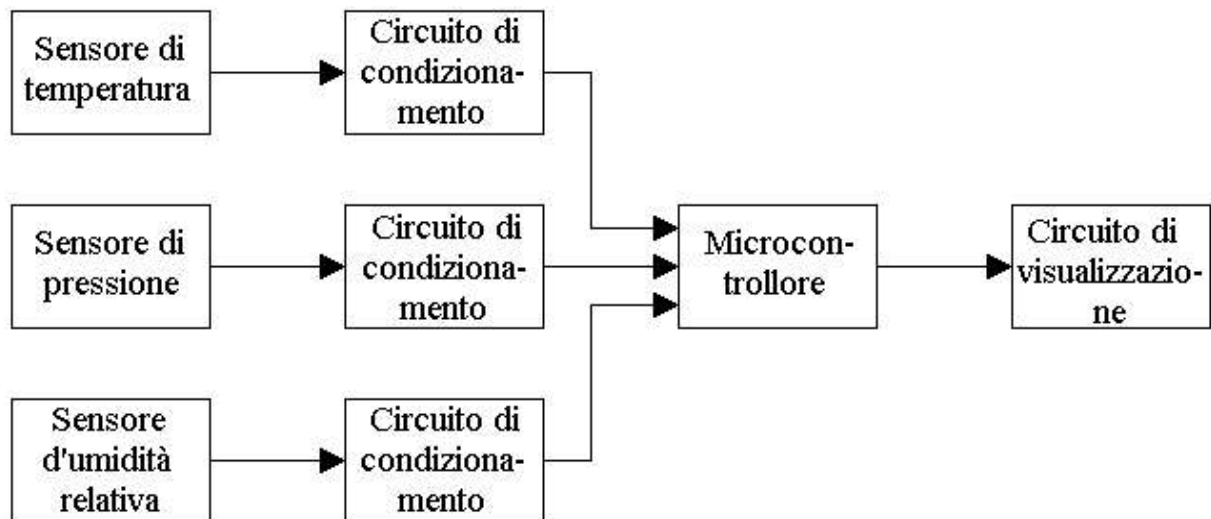
Una serie numerosa di apparecchi è basata sulla determinazione della temperatura alla quale il gas in esame diviene saturo: essi sono gli igrometri a condensazione o ad appannamento. Il

principio viene realizzato osservando l'appannarsi, per il deposito di minime goccioline d'acqua, di una superficie metallica lucente. In generale la superficie che si osserva è costituita dalla parete di una scatola metallica nella quale è contenuto dell'etere in cui si fa gorgogliare dell'aria: l'evaporazione del liquido produce il raffreddamento della parete speculare, la cui temperatura è determinata da un termometro il cui bulbo è contenuto nella scatola. Conoscendo la temperatura della parete, le tabelle di Regnault ci indicano la quantità di vapore acqueo contenuto nell'aria, o in qualunque altro gas, a quella della temperatura.
Gli igrometri più diffusi, specialmente in meteorologia, sono quelli cosiddetti ad assorbimento, basati sulla proprietà che hanno molte sostante organiche di variare di dimensione in funzione dell'umidità relativa.
Le sostanze ormai quasi esclusivamente sono i capelli: preferibilmente quelli biondi femminili; ; la variazione di dimensione che si utilizza è quella di lunghezza. Questi igrometri detti appunto a capello, sono costituiti da un telaio metallico sul quale il capello o il fascetto di capelli sono tesi da un pesetto o da una molla: le variazioni di lunghezza sono trasmesse in varia maniera a un indice mobile su una scala non graduata.
Molto diffuso, anche nelle abitazioni è l'igrometro Mounier nel quale il capello è tenuto in tensione da una molla, anziché da un peso.

Pressione atmosferica (o barometrica)

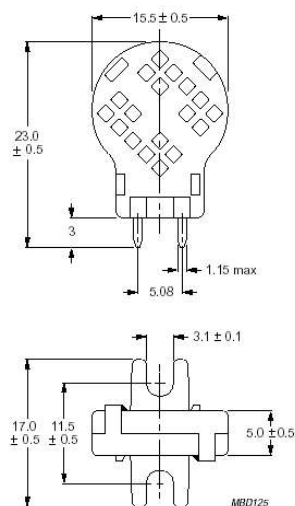
Si dice pressione atmosferica la pressione esercitata dall'aria per effetto della gravità su tutti gli oggetti immersi nell'atmosfera. Fu misurata per la prima volta da Torricelli mediante l'esperimento che prese il suo nome. A livello del mare si attribuisce come pressione atmosferica media il valore di 1033 g/cm^2, equivalente al peso di una colonna di mercurio alta 76 cm che agisce su 1 cm^2 di superficie. La pressione viene solitamente misurata con il barometro a mercurio e con il barometro metallico o aneroide. I valori vengono parametrizzati con temperatura di 0 °C, latitudine 45° ed a livello del mare. La pressione varia nel corso dell'anno con oscillazioni minime in vicinanza dell'equatore e via via maggiori dai tropici alle zone polari; sul suo regime influiscono la distribuzione dei mari e delle terre emerse, la stagionalità termica, lo spostamento delle aree cicloniche e anticicloniche con la latitudine. Nell'emisfero nord si possono distinguere un regime continentale (medie ad alte latitudini) caratterizzato da valori massimi di pressione in inverno e da valori minimi in estate e un regime oceanico che presenta un massimo delle oscillazioni in estate, un minimo nel tardo autunno e un massimo secondario in inverno, per l'ingresso frequente di aria fredda artica. Le oscillazioni diurne presentano due massimi alle ore 10 e 22 e due minimi alle ore 4 e 16, ma alle nostre latitudini sono mascherate delle oscillazioni aperiodiche. Esistono anche maree atmosferiche dalle altezze del Sole e della Luna; la differenza di pressione provocata è di soli 0,3 mbar. La pressione ha una ben definita distribuzione geografica: nella fascia equatoriale è presente è presente una cintura continua di basse pressioni, con anticicloni ed alte pressioni situati a latitudini omologhe ai due lati dell'equatore , poco esterne ai tropici. Le zone fra i 30° e i 60° di latitudine hanno come caratteristica pressioni variabili con le stagioni; le zone tra i 60° e i 75° (subpolari) sono costituite da una cintura continua di basse pressioni. Le fasce di alta e bassa pressione si spostano in latitudine con il variare della stagione . La distribuzione geografica della pressione è rappresentabile mediante isobare(linee che uniscono i punti di ugual valore barico) che definiscono i tipi isobarici: depressione o area ciclonica, anticiclone, saccatura, cuneo, pendio, sella. Le isallobare(linee che uniscono i punti di ugual variazione di pressione in un dato tempo) esprimono le tendenze barometriche. La pressione diminuisce con l'altitudine , sebbene non in modo proporzionale a causa della diminuzione dell'altezza della colonna d'aria sovrastante e della densità dei successivi strati d'aria; diminuisce di 1/30 per i primi 275 metri e si può considerare circa la metà ogni 5000 metri – 1013 mbar al livello del mare e 537 mbar a 5000 metri s.l.m.-. Alle variazioni di pressione sono legate, non in modo esclusivo, le condizioni del tempo: le zone interessate da aree anticicloniche presentano in genere condizioni di tempo buono, quelle interessate da aree depressionarie o cicloniche tempo perturbato.

Temperatura

La temperatura atmosferica è una misura dell'energia calorica disponibile nell'aria. La temperatura è in relazione alla intensità della radiazione ricevuta dal sole e dall'apporto di calore determinato sia dagli spostamenti di masse oceaniche sia dai movimenti atmosferici. La temperatura dell'aria viene misurata con il termometro in gradi centigradi o Fahrenheit ($T_C = \frac{5}{9}(T_f - 32)$. Esistono termometri a massima, a minima e termometri a massima e minima; per registrare con continuità le variazioni di temperatura si usano, invece i termografi. La distribuzione geografica delle temperature si studia mediante le carte isoterme (linee che uniscono i luoghi aventi valori di temperatura uguali). La temperatura dell'aria subisce variazioni regolari (dovute alla radiazione solare; la differenza fra la temperatura massima e minima è chiamata escursione termica) ed accidentali (dipendono dai fattori meteorologici locali quali le perturbazioni, fronti, ecc.).

Schema a blocchi del circuito

Sulla base delle richieste di progetto è possibile stilare un semplice schema a blocchi che viene sottoriportato:
Sensore di temperatura: deve rilevare variazioni di temperatura e fornire variazioni di una grandezza elettrica (corrente).
Sensore di pressione: deve rilevare variazioni di pressione e fornire variazioni di una grandezza elettrica (tensione).
Sensore di umidità relativa: deve rilevare variazioni di umidità relativa e fornire variazioni di una grandezza elettrica (capacità).
Circuito di condizionamento: deve rilevare la grandezza elettrica fornita dai sensori ed adattarla affinché rientri nelle caratteristiche che devono avere gli ingressi del microcontrollore.
Microcontrollore: rileva le uscite dei tre circuiti di condizionamento e gestisce la visualizzazione.
Circuito di visualizzazione: utilizzando le uscite del microcontrollore pilota 4 display ad anodo comune a sette segmenti.

Ogni blocco funzionale dello schema a blocchi viene descritto minutamente nei prossimi paragrafi tenendo conto del sottostante esempio reali di condizioni atmosferiche del 03/06/2003.

Validità	Temperatura	Pressione	Umidità	Vento
ore 08 di Martedì 03 Giugno 2003	21 °C	1015 mbar	63 %	Est-Nord-Est 10 km/h
ore 11 di Martedì 03 Giugno 2003	27 °C	1015 mbar	55 %	Sud-Sud-Est 1 km/h
ore 14 di Martedì 03 Giugno 2003	29 °C	1015 mbar	48 %	Sud-Est 6 km/h
ore 17 di Martedì 03 Giugno 2003	28 °C	1014 mbar	49 %	Sud-Sud-Est 11 km/h
ore 20 di Martedì 03 Giugno 2003	26 °C	1015 mbar	78 %	Sud-Sud-Est 6 km/h
ore 23 di Martedì 03 Giugno 2003	22 °C	1016 mbar	86 %	Sud-Est 1 km/h

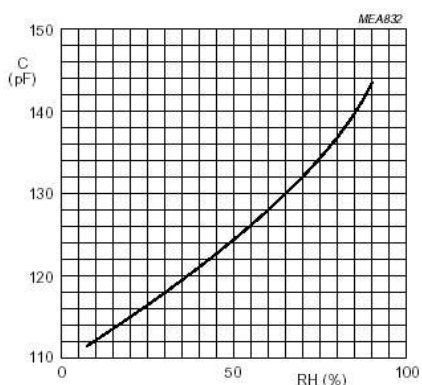
Principio di funzionamento e circuito di misura del rivelatore capacitivo di umidità Philips 2322-691-90001

La necessità di disporre di un rivelatore di umidità elettronico che sia nello stesso tempo economico e dal funzionamento sicuro e fuori da ogni discussione. Purtroppo queste due caratteristiche non sono facilmente conciliabili e fino a poco tempo fa i rivelatori elettronici i umidità con funzionamento sicuro avevano prezzi inaccessibili per consentire un impiego su vasta scala. Indubbiamente i rivelatori di umidità elettronici presentano molti vantaggi:

- possono essere incorporati direttamente in un circuito di misura elettronico, e di conseguenza eliminano tutti quei problemi di precisione meccanica associati ai convenzionali igrometri;
- sono molto versatili in quanto possono essere impiegati per pilotare indicatori del valore di umidità (display) di varia natura;
- sono facilmente calibrabili.

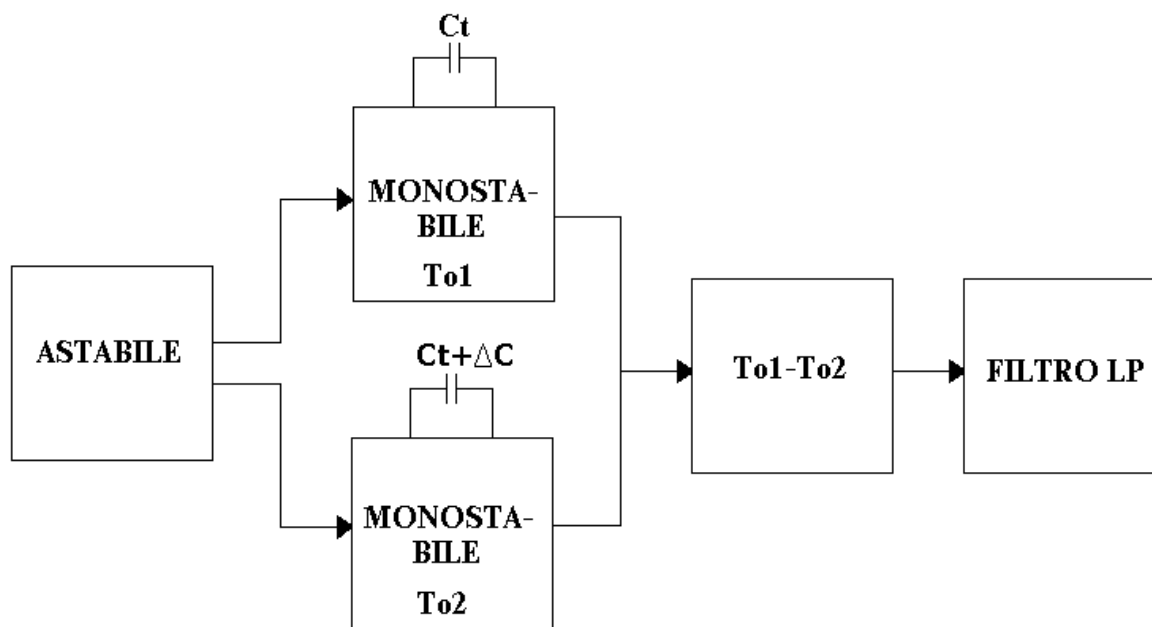
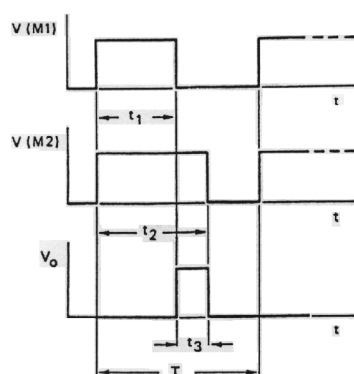
Il rivelatore di umidità Philips (numero di codice 2322-691-90001) possiede i suddetti vantaggi.

Questo rivelatore di umidità è formato da un contenitore di plastica munito di fori all'interno del quale di trova una sottile membrana di materiale non conduttore ricoperta da entrambe le facce con uno strato d'oro. Questa struttura non è altro che un condensatore, il cui dielettrico, formato dalla lamina (o membrana) di materiale isolante e i cui elettrodi piatti e paralleli sono costituiti dai due strati di oro depositati sulle due facce della membrana di materiale isolante. Eventuali variazioni di umidità relativa (H_{rel}) produrranno pertanto una corrispondente variazione della capacità (C_t) di questo particolare condensatore.

Il rivelatore viene collegato ad un circuito che produce una tensione continua che può essere impiegata per attivare un microamperometro, un LED, un display a cristalli liquidi nel qual caso si ha l'indicazione diretta del valore dell'umidità relativa H_{rel}, oppure come segnale monitore per un sistema di controllo dell'umidità. Progettato per indicare valori di umidità relativa compresi tra il 10% e il 90%, il rivelatore ha, nelle peggiori condizioni di funzionamento, una precisione nominale che oscilla intorno al 5% al centro di valori di umidità misurati.

Ovviamente, in condizioni nominali, e cioè a temperature ambiente e con tensione di

alimentazione al valore nominale, l'accuratezza della misura sarà ancora migliore.
La maggior parte degli agenti che normalmente inquinano l'aria non influiscono sul funzionamento di questo rivelatore. Ci sono però i vapori di qualche solvente come l'acetone, per esempio, che possono intaccare la membrana. Nella tabella riportiamo in cui può essere impiegato vantaggiosamente questo rivelatore di umidità. E' bene però far presente che il dispositivo in questione non permette di realizzare igrometri di elevata precisione. Gli igrometri realizzati con questo rivelatore hanno però il vantaggio di essere versatili, di funzionamento sicuro, non troppo costosi, capaci di dare una precisione di misura abbastanza accurata per gli impieghi previsti.

Impiego	*Controllo*
Igrometri casalinghi	-Condizionamento dell'aria
Stazioni meteorologiche con display a LED o a cristalli liquidi	-Umidificatori casalinghi, controllo dell'umidità nelle serre. -Asciugabiancheria a tamburo per impieghi casalinghi

Circuito di misura
Il principio di funzionamento è riportato nella figura sottostante:

Questo principio di funzionamento è basato sulla misura della differenza tra due impulsi. E' formato da due monostabili pilotati da un astabile e, quindi, sincronizzati sul fronte di discesa del segnale rettangolare fornito dall'astabile, uno collegato ad un condensatore C_t, l'altro collegato alla capacità $C_t+\Delta C$ del rivelatore di umidità. Quest'ultima è, quindi, formata da una componente fissa C_t e da una componente variabile ΔC, funzione dell'umidità relativa. I due monostabili producono impulsi di durata t_1 e t_2, direttamente proporzionali alle capacità rispettivamente C_t e $C_t+\Delta C$. La differenza tra le ampiezze dei due impulsi t_3 è data da $t_3=t_2-t_1$. Se i monostabili hanno costanti di proporzionalità di uguale valore l'impulso-differenza t_3 risulterà direttamente proporzionale a ΔC, e cioè alle variazioni di capacità della membrana del rivelatore.

Per ricavare il valor medio del segnale in uscita, proporzionale alle variazioni di capacità della membrana del rivelatore viene utilizzato un filtro passa-basso.

Assegnando alla frequenza dell'impulso il valore di $\frac{1}{T}$, dove $T=2t_1$ e supponendo che tutti gli impulsi posseggano ampiezza uguale (V_B), il valor medio della tensione di uscita sarà:

$$\bar{V}_O=\frac{t_3}{T}*V_B=\frac{\Delta C}{2C_0}*V_B$$

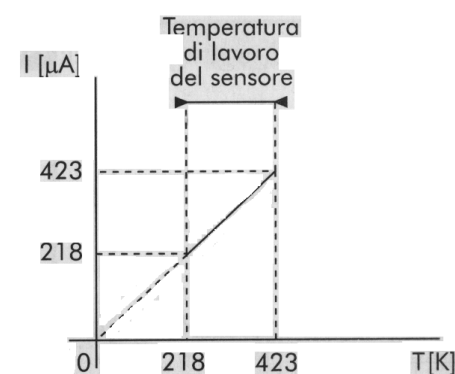
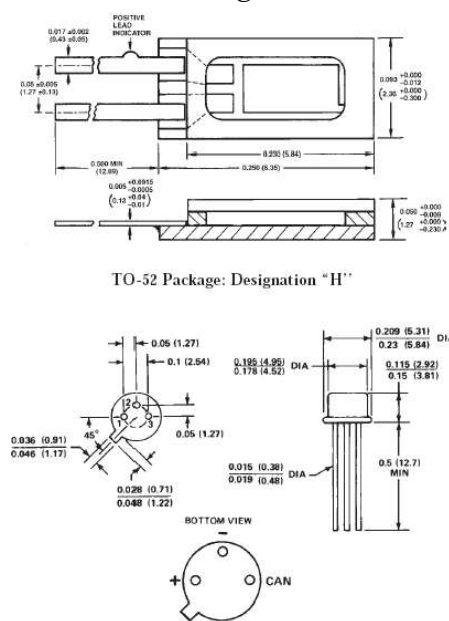
Il termine $\frac{t_3}{T}$ viene chiamato *larghezza relativa dell'impulso*. Le variazioni di temperatura e di tensione avranno trascurabile influenza su $\frac{t_3}{T}$ qualora:

- le caratteristiche dei due multivibratori risultino identiche;
- le capacità abbiano coefficienti di temperatura di uguale valore.

La tensione di uscita V_O verrà a dipendere direttamente dal valore della tensione di alimentazione per cui, per avere risultati attendibili, converrà che questa tensione venga stabilizzata.

Principio di funzionamento e circuito di misura del sensore di temperatura con uscita in corrente AD590

I trasduttori di temperatura sono dispositivi che rilevano variazioni di temperatura e forniscono variazioni di una grandezza elettrica (resistenza, tensione, corrente)

TO-52 Package: Designation "H"

Il trasduttore di temperatura AD590, prodotto dalla Analog Devices in forma integrata, è realizzato con materiale semiconduttore e fornisce una intensità di corrente proporzionale alla temperatura, espressa in gradi Kelvin. Si tratta, quindi, di un circuito integrato utilizzabile per temperature comprese fra -55 °C e +150°C e può essere alimentato con tensioni comprese fra 4 V e 30 V. Esso fornisce una corrente che è legato alla temperatura mediante la relazione:

$I=k*T$

in cui T è la temperatura espressa in gradi Kelvin.

TEMPERATURE SCALE CONVERSION EQUATIONS

$°C=\frac{5}{9}(°F-32)$ $K=°C+273.15$

$°F=\frac{9}{5}°C+32$ $°R=°F+459.7$

Alla base del funzionamento di tale dispositivo è il fatto che la tensione prelevata ai capi di una giunzione polarizzata direttamente varia di circa -2,3 mV/°K in un ampio range di temperatura. L'integrato AD590 è un trasduttore di temperatura a due terminali che per tensioni di alimentazione comprese nel range 4-30 V genera una intensità di corrente *I_S=1 mA/°K* con una linearità di ±0,8 °C.

In una delle figure mostrate in questa pagina è riportata la caratteristica corrente/temperatura di un AD590. Si noti come la caratteristica sia una retta che, se estrapolata, passa per l'origine a 0 °K. In particolare il sensore fornisce una corrente di 273 µA alla

temperatura di 0°C.

Nella figura affianco è riportato un circuito applicativo per l'AD590 che vale sia per temperature negative che positive.

- Se la corrente che passa nella resistenza R_1 è uguale e contraria a quella fornita dal sensore allora la tensione ai capi della resistenza R_2 non si creerà nessuna tensione e quindi la corrente che scorrerà in essa sarà nulla. Ponendo T_{min} uguale alla temperatura per la quale si vuole ottenere un'uscita pari a 0 V si ha:

$$I_{min}[\mu A]=I_0[\mu A]+T_{min}[°C]$$

dove I_0=273 µA
e, quindi:

$$R_1=\frac{V_{CC}}{I_{min}}$$

- Se la corrente che passa per il sensore è maggiore della corrente che scorre nella resistenza R_1 allora scorrerà una corrente nella resistenza R_2, pari alla differenza fra le correnti I_{R2} ed I_{R1}, che formerà una d.d.p. ai capi della medesima resistenza. Quindi, il valore della resistenza R_2 sarà dato dalla formula:

$$R_2=\frac{V_{O_{max}}}{\Delta I}=\frac{V_{O_{max}}}{I_{R2}-I_{R1}}$$

Circuito di misura del sensore di pressione atmosferica con uscita in tensione MPX2000

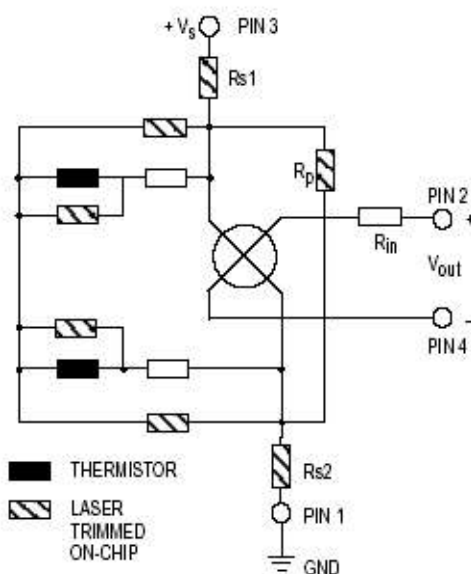
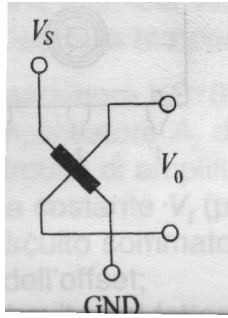
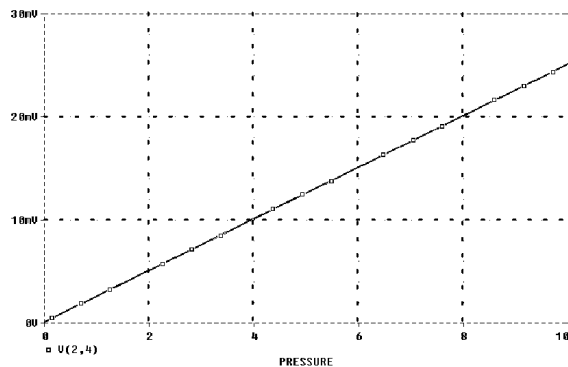



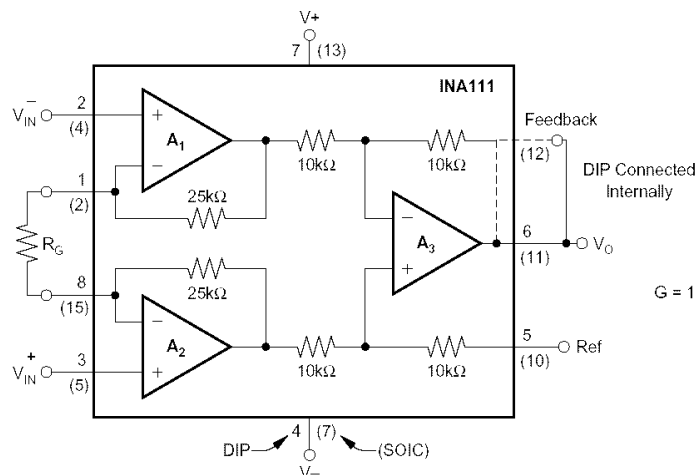
Figure 1. Seven Laser-Trimmed Resistors and Two Thermistors Calibrate the Sensor for Offset, Span, Symmetry and Temperature Compensation

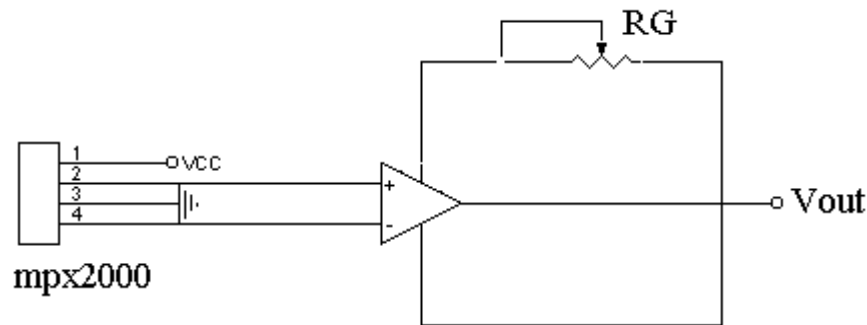
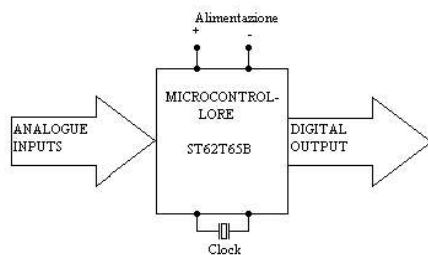
I trasduttori di pressione si differenziano in base al principio fisico su cui si basano e si distinguono in trasduttori ad effetto:

- *capacitivo* nei quali le variazioni della capacità è dovuta alla variazione di pressione a cui sono sottoposte le armature del condensatore (effetto piezoelettrico);
- *induttivo* nei quali la variazione dell'induttanza o della riluttanza è causata delle variazioni di pressione a cui è sottoposto il trasduttore;
- *Hall* nei quali la variazione di pressione è causata dallo spostamento di un piccolo magnete a causa della variazione di pressione;
- *piezoresistivo* nei quali la variazione della resistenza è dovuta alla deformazione meccanica di una membrana sottoposta ad una variazione di pressione.

Nel sistema S.I. L'unità di misura della pressione è il Pascal, anche se si utilizzano le unità di misura sottoriportate:

bar=10^5 Pa
psi=6,89*10^3 Pa
atm=101325 Pa
mm Hg=133,322 Pa

Nel caso del sensore da noi utilizzato si parla di sensore piezoresistivo. Esso viene realizzato su un chip di silicio, scavato da una parte in modo da ottenere una sottile membrana o diaframma. Sulla membrana di silicio sono realizzati uno o quattro piezoresistori con un processo di diffusione o di deposizione di un film sottile o con impianto di ioni. Ad esempio, la Motorola costruisce trasduttori formati da un solo piezoresistore, detto a X.
I trasduttori piezoresistivi esaminati consentono di misurare pressioni assolute, relative e differenziali.
La serie di sensori di pressione atmosferica MPX2000 offrono, a differenza delle serie MPX10, MPX50 ed MPX100 la compensazione di temperatura interna. Infatti si tratta di un sensore piezoresistivo di pressione che produce in uscita una tensione direttamente proporzionale alla pressione applicata. Più precisamente a 0 kPa produce una tensione d'uscita di 0V; il fondoscala è di 200 kPa alla quale pressione produce una tensione di 40 mV. Essendo il fondoscala richiesto dalle "richieste di progetto" di 1,2 atm (1kPa=$9,87*10^{-3}$ atm; 200 kPa=1,974 atm) e potendo considerare la caratteristica pressione/temperatura del dispositivo una retta di equazione:

$$V=\frac{40*10^{-3}}{200*10^{3}}*P=200*10^{-9}*P$$

dove:
P=pressione in kPa;
V=d.d.p. creatasi fra i piedini 2 e 4 del sensore;
Si può dedurre che la tensione fra i piedini 2 e 4 del sensore ad una pressione pari a 1,2 atm è di 24,318 mV.
Questo segnale dev'essere quindi amplificato del rapporto $\frac{5}{24,318*10^{-3}}=205,6$.

L'amplificazione verrà effettuata tramite l'utilizzo di un amplificatore per strumentazione (INA111). Si ricorda che gli Amplificatori per strumentazione , detti anche Instrument Amplifier i IA, sono amplificatori con ingresso differenziale, caratterizzati da un amplificatore lineare, con elevata reiezione del rumore in modo comune (alto CMRR, attitudine dell'amplificatore differenziale a non amplificare segnali comuni ai due ingressi). Sono particolarmente utili, quindi, quando si devono amplificare piccoli segnali in ambienti particolarmente rumorosi.
Essi permettono inoltre di regolare l'amplificazione di tensione mediante il collegamento di una resistenza agli appositi piedini, ingressi simmetrici con valori di resistenza nell'ordine dei GΩ, si può regolare l'Offset ed hanno derive termiche molto basse.

Concludendo, quindi, il circuito di misura della pressione atmosferica viene sottoriportato:

Microcontrollore

Lo schema a blocchi a fianco riportato descrive la funzione che il microcontrollore deve assumere all'interno del nostro circuito che verrà spiegato più ampiamente in seguito. Nei prossimi paragrafi vengono fornite alcune informazioni riguardanti i microcontrollori.

ST6: Cos'è e come funziona

Il termine Microcontrollore o MCU (Microcontroller unit) identifica un particolare circuito integrato che dispone nel suo interno di almeno cinque blocchi funzionali:

- *Una interfaccia d'ingresso:* uno o più ingressi attraverso i quali acquisire dati e informazioni dal mondo esterno; a seconda del micro, agli ingressi possono venire applicati segnali digitali (livelli logici) o analogici (tensioni, frequenze) ed anche segnali più complessi come, ad esempio, quelli video.

- *Una interfaccia di uscita:* una o più uscite in grado di controllare attuatori di ogni genere, display, monitor, dispositivi di potenza i quali trasformano la tensione in forza meccanica (motori).

- *Una memoria ROM o EPROM:* solitamente chiamata "memoria programma", nella quale viene caricato il programma da eseguire; i dati e le istruzioni rimangono registrati anche quando viene a mancare alimentazione.

- *Una CPU:* definita come l'unità principale di calcolo, con relativo clock, in grado di interpretare ed eseguire scrupolosamente il programma contenuto nella memoria; in base a questo programma, la CPU elabora i segnali di ingresso e controlla le uscite.

- *Una memoria RAM o EEPROM:* chiamata "memoria dati", nella quale la CPU legge e scrive le variabili, ovvero i dati presenti sugli ingressi e sulle uscite, i risultati delle operazioni ed altre informazioni; i dati presenti nella RAM vengono persi quando viene a mancare l'alimentazione.

Oltre a questi blocchi funzionali, indispensabili per poter definire microcontrollore un determinato chip, solitamente nei micro vengono implementate altre funzioni legate alla complessità del dispositivo; tra le più comuni segnaliamo i timer, i convertitori A/D e D/A, i generatori PWM, i driver per display e numerose altre periferiche specializzate. Da quanto fin qui esposto risulta evidente quale sia la differenza tra un microprocessore e un microcontrollore: il primo contiene esclusivamente l'unità centrale di calcolo (CPU) e quindi per poter funzionare

necessita di una memoria ROM esterna nella quale viene scritto il programma, di una RAM per i dati e di alcuni integrati per l'interfacciamento; nei microcontrollori tutto ciò è contenuto all'interno di un singolo chip. Il principio di funzionamento di un microcontrollore è molto semplice, e coincide con quello di un computer o elaboratore elettronico e può essere riassunto in solo tre operazioni eseguite dalla CPU, essa legge l'istruzione contenuta nella memoria programma, la interpreta e la esegue.

Il "core"

La CPU rappresenta ovviamente l'elemento più importante di un microcontrollore, il "core" di tutto il sistema. In base al numero di bit che il processore è in grado di elaborare è possibile individuare quattro grandi famiglie: i micro a 4 bit, quelli a 8, quelli a 16 e quelli a 32. I più diffusi sono i dispositivi a 8 bit che coprono circa il 50% del mercato mentre quelli più sofisticati e di recente produzione utilizzano la CPU di 32 bit. Altra caratteristica molto importante dei microcontrollori (così come dei microprocessori) è la velocità di esecuzione che nei modelli più sofisticati può raggiungere alcune decine di MIPS (milione di operazioni per secondo). La CPU contenuta nel chip è in grado di interpretare un serie di istruzioni che è specifica di quel determinato micro o della famiglia di appartenenza. Purtroppo, non esiste un controllore uguale ad un altro; tuttavia, specie se ci riferiamo a dispositivi della fascia bassa e medio-bassa, la conoscenza di una famiglia di micro e delle relative istruzioni sono di grande aiuto nell'apprendimento della logica di funzionamento e delle istruzioni di una famiglia simile prodotta da un'altra casa costruttrice. Il passaggio da una famiglia all'altra non rappresenta dunque un grosso problema per una persona esperta; il vero problema è un'altro. Per programmare questi dispositivi, oltre a conoscere la logica di funzionamento ed il set di istruzioni, è necessario disporre di un emulatore o di un programmatore che sono specifici per ciascuna famiglia di integrati. Così, ad esempio, per programmare un micro della famiglia ST6 è necessario disporre del relativo programmatore della SGS, il quale non è adatto per un micro della famiglia PIC16XX della Microchip. Pertanto, prima di scegliere un microcontrollore, appartenente ad una famiglia, è necessario valutare accuratamente quali sono le proprie esigenze per evitare di dover passare ad un altro dispositivo, col relativo aggravio di costi dovuti al sistema di sviluppo e di programmazione. Per lo stesso motivo abbiamo dovuto fare delle scelte, individuare cioè una famiglia di microcontrollori da prendere in considerazione quando dai concetti generali si passerà alla pratica. La scelta è caduta sulla famigliaST6 della SGS-THOMSON basata su una CPU a 8 bit: sviluppata per applicazioni nel campo auto, in quello industriale e nel settore delle telecomunicazioni, la famiglia ST6 consente di realizzare numerosi dispositivi elettronici nella fascia bassa e medio-bassa. Per impieghi più complessi, esiste un famiglia (ST9) con prestazioni più sofisticate; è relativamente facile, conoscendo la famiglia ST6, fare un salto di qualità e passare alla famiglia di rango superiore. Le ragioni della scelta della famiglia ST6 sono molteplici: l'ottimo rapporto prezzo/prestazioni dei dispositivi, la loro notevole diffusione, la disponibilità di un programmatore di basso costo. Analizzando lo schema a blocchi dell'ST6265 notiamo che la CPU indicata come "8 bit core" comunica attraverso un bus bidirezionale con tutte le risorse disponibili del chip. Tra di esse distinguiamo le principali, ovvero quelle senza le quali il micro non potrebbe funzionare, che sono la memoria ROM, la memoria RAM e le interfacce di ingresso e uscita contraddistinte dalla sigla "Port".

Gli ingressi/uscite

Nel micro ST6265, ad esempio, sono disponibili tre blocchi di interfaccia ingresso/uscita, definiti anche come porte di I/O (input/output), siglate rispettivamente: Port A, Port B, Port C. Ogni Port è collegato ad un determinato numero di pin del micro, per la precisione il Port A è collegato a 8 pin siglati da PA0 a PA7, il Port B è connesso ai pin da PB0 a PB7, il Port C è invece collegato a solo 5 pin siglati PC0, PC1, PC2, PC3, PC4. Tutti i pin collegati ai Port vengono indicati con il termine "linea di I/O (ingresso/uscita)", il Port A e il Port B dispongono dunque di 8 linee ciascuno, mentre il Port C dispone di 5 linee di I/O. Ogni singola linea può essere programmata per funzionare come ingresso o come uscita. Ad esempio se colleghiamo un pulsante ad un pin di I/O del micro dovremo programmare questo pin come ingresso, al contrario se vi colleghiamo un relè il pin sarà settato come uscita. Concludendo, ogni linea di I/O viene nominata ingresso se l'informazione transita dal mondo esterno alla CPU, oppure di uscita se i dati si spostano dalla CPU al mondo esterno. I microcontrollori ST6260 e ST6265 dispongono di funzioni molto avanzate per ogni linea di I/O; sono infatti disponibili ben 5 opzioni per ogni pin d'ingresso: ingresso normale, ingresso con resistore di "pull-up", ingresso di interruzione, ingresso analogico, ingresso seriale. Per un pin di uscita sono invece disponibili 4 diversi tipi di funzionamento: uscita "push-pull", uscita "open-drain", uscita ad alta corrente, uscita seriale.

Il programma

Il blocco indicato come "User program ROM" indica la parte del chip atta a contenere il programma. Se , ad esempio, utilizziamo un ST6265 e lo alimentiamo applicando una tensione tra i pin Vdd e Vss potremo verificare con un tester che tutte le linee di I/O rimangono nella condizione ad alta impedenza. Non succede praticamente nulla, ovvero i pin non variano e restano sempre nello stesso stato. Il micro in oggetto dispone si di una memoria programma ma essa risulta vuota, ovvero non contiene alcun comando che può essere interpretato dalla CPU. Noi abbiamo acquistato la parte hardware che consiste fisicamente nell'integrato siglato ST6265 ma per funzionare è necessario procedere alla sua programmazione. Da queste affermazioni nasce il concetto di programma software che rappresenta la sequenza dei comandi che la CPU deve processare ed eseguire. Il software viene "scritto" dall'utente in funzione di ciò che si vuole far fare al micro e successivamente trasferito nella memoria programma che può essere di tipo PROM o EPROM. I micro dotati di memoria programma di tipo PROM vengono definiti OTP (One Time Programmable) ovvero programmabili una sola volta e sono usati per produrre piccole o medie serie di integrati atti a svolgere sempre la stesse funzioni; se le quantità sono considerevoli (dai 5-10 mila pezzi in su), la programmazione può essere effettuata dalla stessa casa costruttrice (in questo caso si parla di micro "mascherati"); al contrario, i micro con memoria programma di tipo EPROM, possono essere cancellati e programmati più volte, vengono perciò utilizzati prevalentemente in fase di messa a punto del software. In ogni caso, sia per i micro di tipo PROM che di tipo EPROM, per poter lavorare è necessario disporre di un computer e di un appropriato sistema di sviluppo denominato "Starter Kit". I comandi da impartire alla CPU vengono elaborati e simulati dapprima a computer e in un secondo tempo trasferiti nel chip tramite programmazione. Per ora ci limitiamo a ricordare che ogni diversa famiglia di microcontrollori necessita purtroppo di un proprio sistema di sviluppo. Ad esempio l'ST626X Starter Kit programma la sottofamiglia ST626X di microcontrollori SGS-THOMSON, mentre l'ST6220 Starter Kit gestisce le sottofamiglie ST621X e ST622X, e così di seguito l'M68HC705KICS Starter Kit programma il micro 705H1 della Motorola, il TMS320C5X Starter Kit programma il TMS320XX della Texas Instruments, ecc. E' dunque di primaria importanza sapere esattamente qual è il micro più adatto alle nostre esigenze e di conseguenza orientarsi sul relativo Starter Kit.

La famiglia ST6

Il mercato dei micro è in notevole espansione e tutte le principali Case di semiconduttori hanno nel proprio catalogo dei microcontrollori, dall'SGS-THOMSON alla Texas Instruments, dalla Toshiba all'Hitachi, dalla Microchip alla Motorola. Sapersi districare in questo mercato alla ricerca del micro più appropriato non è facile. Ogni micro nasce con una propria filosofia e presenta rispetto ai concorrenti sia pregi che difetti. Una ditta che prevede l'utilizzo di un micro per produrre migliaia di pezzi deve sicuramente affrontare con cura la scelta del modello più adatto, al contrario una piccola o media industria elettronica dovrebbe basarsi su altri criteri, come ad esempio la semplicità di programmazione, il basso costo del sistema di sviluppo ed infine la gamma di modelli disponibili. Soffermiamoci su quest'ultima affermazione introducendo il concetto di "famiglia di microcontrollori", termine con cui si indicano micro diversi che usano lo stesso software di programmazione. Ad esempio, la famiglia ST6 è composta da 3 sottofamiglie che sono: l'ST621X/ST622X, l'ST624X e l'ST626X. Ad ognuna di queste sottofamiglia appartengono vari modelli di microcontrollore; ad esempio della famiglia ST626X fanno parte i tipi ST6260 e ST6265. Ogni micro indicato è disponibile sia con memoria programma di tipo EPROM che di tipo OTP. Alla famigliaST6 appartengono svariati microcontrollori che pur diversi l'un dall'altro condividono lo stesso software. Si deduce che imparando ad utilizzare uno qualsiasi dei micro indicati si può facilmente e rapidamente passare alla programmazione di un altro micro ST6. La famiglia ST6 utilizza una CPU ad 8 bit e consente la realizzazione di numerosi dispositivi elettronici. Per impieghi più complessi è possibile e facile, se già si conosce l'ST6, orientarsi verso la più sofisticata famiglia ST6. Tornando alle motivazioni che ci hanno portato alla scelta dei micro ST6 possiamo affermare che esse sono molteplici: le principali possono essere individuate nell'ottimo rapporto prezzo/prestazione, nella semplicità di programmazione, nella vastità di modelli disponibili, nella robustezza dei micro poiché nati per il mercato automotive, nella loro notevole diffusione e infine nella disponibilità di un programma di basso costo. La famiglia ST6 è stata progettata per soddisfare in modo facile e flessibile un grande numero di esigenze; internamente infatti il micro della SGS-THOMSON dispone di notevoli risorse sia in termini elaborativi che di completezza delle periferiche implementate, che ci consentiranno di realizzare applicazioni anche complesse utilizzando pochi componenti esterni. I micro ST6 comprendono diversi modelli che possiamo dividere in tre grosse categorie: le versioni EPROM utilizzabili in fase di sviluppo del software, le versioni OTP per la produzione in serie, e le versioni ROM per produzioni di grossi quantitativi. Le versioni EPROM sono contraddistinte dalla lettera E (ST62EXX), le versioni OTP dalla lettera T (ST62TXX), e le versioni ROM dall'assenza di lettere (ST62XX).

La sottofamiglia 6265X

Questi chip sono fisicamente identici ai precedenti e condividono le stesse istruzioni software poiché appartengono alla stessa famiglia. Chi già lavora con i 4 modelli base può facilmente passare all'utilizzo dei due modelli avanzati, in quanto sia la struttura complessiva che le nozioni di base hardware sono esattamente le stesse. In pratica l'ST6260 rappresenta l'evoluzione dell'ST6220 che a sua volta è l'evoluzione dell'ST6210. Allo stesso modo l'ST6265 deriva dall'ST6225 che a sua volta deriva dall'ST6215. Per evitare confusioni facciamo riferimento alla tabella comparativa della famiglia ST6 riportata di seguito. Qui possiamo effettuare subito due grosse distinzioni rappresentate dal tipo di contenitore impiegato, l'ST6210, l'ST6220 e l'ST6260 dispongono di package a 20 pin, mentre l'ST6215, l'ST6225 e l'ST6265 hanno un contenitore a 28 piedini. Da ciò deriva la prima differenza cioè il numero di linee di I/O che i micro possono gestire. La seconda differenza che possiamo riscontrare è la diversa capacità di memoria programma. In generale possiamo ricordare la seguente tabella di verità per comprendere subito con quale modello abbiamo a che fare, se trasformiamo in ST62 A B C la sigla di un qualsiasi microcontrollore indicato, possiamo affermareche: la posizione A coincide con il tipo di memoria programma ovvero sarà una E se di tipo EPROM o una T se di tipo OTP, la posizione B indica la sottofamiglia di appartenenza 1 o 2 oppure 6, la pèosizione C coincide con il contenitore cioè 20 pin se 0, oppure 28 pin se 5. Ad esempio, un micro siglato ST62E25 è un ST6 in versione EPROM appartenente alla sottofamiglia 2 e in contenitore a 28 pin. La sottofamiglia 1 e 2 sono, a parità di contenitori, pin-to-pin compatibili e si differenziano tra loro solo per la capacità di memoria programma. La sottofamiglia 6 (ST6260 e ST6265) non è, a parità di contenitori, pin-to-pin compatibile con i 4 modelli precedenti e dispone di maggiori risorse: 64 byte in più di memoria RAM, 128 byte di memoria EEPROM, un timer autoricaricabile e infine una periferica seriale.

VDD e VSS:
Ingressi di alimentazione (VDD positivo e VSS negativo), su questi piedini va applicata una tensione stabilizzata compresa tra i 3 e i 6 volt (tipicamente 5 volt) e, normalmente, un condensatore elettrolitico di disaccoppiamento con capacità compresa tra 0,1 e 1 µF.

OSCin e OSCout:
Questi piedini sono collegati all'oscillatore interno del micro che serve a generare il *clock* di sistema. Quando si seleziona l'opzione "*Quartz/Ceramic resonator*", tramite l'Option Byte, è possibile collegare un quarzo, un risonatore ceramico o un segnale di clock esterno con frequenza compresa tra i 2 e gli 8 MHz a questi due piedini. Nel caso più comune, quello del quarzo, vanno collegati anche due condensatori ceramici di capacità compresa tra 12 e 22 pF fra i piedini e la massa. Selezionando invece l'opzione "*RC oscillator*" è sufficiente collegare fra il piedino OSCout e la massa una resistenza. Sui microcontrollori sprovvisti di Option Byte l'impostazione predefinita è "Quartz/Ceramic resonator".

RESET:
Quando questo piedino viene cortocircuitato a massa si causa un reset del microcontrollore facendo ripartire il programma dall'inizio. Normalmente va mantenuto a livello logico alto (VDD) tramite una resistenza da 100 Kohm collegata al positivo e un condensatore elettrolitico da 1 µF collegato a massa, questa rete RC provoca un reset automatico ogni volta che il circuito viene alimentato, garantendo così il corretto funzionamento del micro.

TEST (VPP):
Durante il funzionamento normale questo piedino va mantenuto a massa (VSS), sebbene ciò avvenga in automatico (tramite una resistenza di *pull-down* interna al micro), è tuttavia consigliabile collegarlo fisicamente al negativo di alimentazione onde evitare il danneggiamento del programma contenuto in memoria. Soltanto durante la programmazione, il piedino si trova a livello logico 1 (VDD) e viene portato a +12,5 volt (VPP) dal programmatore per trasferire i dati all'interno del micro.

NMI:
Ingresso asincrono associato alla gestione dell'*Interrupt non mascherabile*. Applicando un fronte di discesa a questo piedino (segnale negativo), si obbliga il microcontrollore a sospendere lo svolgimento del programma principale (indipendentemente da quello che sta facendo), e ad eseguire una *subroutine* (sottoprogramma) opportunamente programmata. Se non utilizzato, questo piedino va collegato al positivo d'alimentazione (VDD); nei microcontrollori dotati di Option Byte è comunque possibile attivare la resistenza interna di *pull-up*.

TIMER:
Questo piedino, come suggerisce il nome, è collegato al contatore interno denominato per l'appunto *Timer*. Il suo uso dipende da come viene configurato via software, può essere utilizzato come ingresso per far partire il conteggio del timer o come uscita per attivare un dispositivo allo scadere del tempo stabilito. Su questo piedino, è anche possibile prelevare dei segnali ad onda quadra con frequenze impostate da software (utilissimo per creare dei generatori PWM). Anche per questo piedino è possibile attivare la resistenza interna di *pull-up* utilizzando l'Option Byte, sui microcontrollori sprovvisti di questa possibilità la resistenza (quando necessaria) deve essere montata all'esterno.

PA0 - PA3, PA4 - PA7:*
Questi otto piedini appartengono al primo blocco di porte I/O (Ingresso/Uscita) utilizzate dal microcontrollore per dialogare con il mondo esterno. Sono configurabili via software in sei modi diversi ed in maniera indipendente l'uno dall'altro (anche più volte durante lo svolgimento del programma). I possibili modi di funzionamento sono: Ingresso semplice, ingresso con resistenza di pull-up, ingresso analogico (collegato al convertitore A/D), ingresso associato ad interrupt, uscita *push-pull* e uscita *open-drain*. Le porte da PA0 a PA3 non possono essere utilizzate come ingressi analogici, ma quando configurate come uscite open-drain, possono supportare correnti fino a 20 mA (normalmente le altre porte gestiscono correnti massime di 5 mA) in grado di comandare direttamente LED o piccoli relè.
* Le porte da PA4 a PA7 non sono disponibili sui micro ST6210 e ST6220.

PB0 - PB7:
Secondo blocco di porte I/O, il loro funzionamento è analogo a quello delle porte PA0-PA7, con la sola differenza di gestire 5 mA di corrente massima in uscita e di poter utilizzare l'ingresso analogico su tutte le porte.

PC4 - PC7:*
Terzo blocco di porte I/O, in questo caso le linee sono solo quattro, ma il loro funzionamento è identico alle porte PA4-PA7.
* Le porte da PC4 a PC7 non sono disponibili sui micro ST6210 e ST6220.

Microprocessore

Registri Generici: conservano dati provvisori durante l'esecuzione dei programmi (piccole memorie RAM)

Registri Dedicati:

Program Counter: punta all'istruzione successiva da eseguire
Instruction Register: tiene la copia dell'istruzione in esecuzione
Status Register: mostra lo stato di un dato dopo la sua elaborazione
Stack Pointer: puntatore all'area di stack, memoria in cui vengono conservate informazioni utili alla gestione del programma
Accumulatore: registro di appoggio per operazioni aritmetiche

ALU: esegue operazioni aritmetiche o di confronto sui dati (Unità Logico-Aritmetica)

Unità di controllo:

Clock: :regola la cadenza delle operazioni eseguite
Interprete delle istruzioni: traduce il contenuto dell'Instruction Register in operazioni da compiere

· *Memorie*

ROM: Memoria di sola lettura

RAM: Memoria di lettura/scrittura

EPROM: ROM programmabile dall'utente

EEPROM: Memoria di lettura/scrittura che mantiene il contenuto togliendo l'alimentazione

· *Periferiche*

Porte: scambio dati tra il microprocessore e il mondo esterno

Timer: svolge operazioni di conteggio senza impegnare il micro

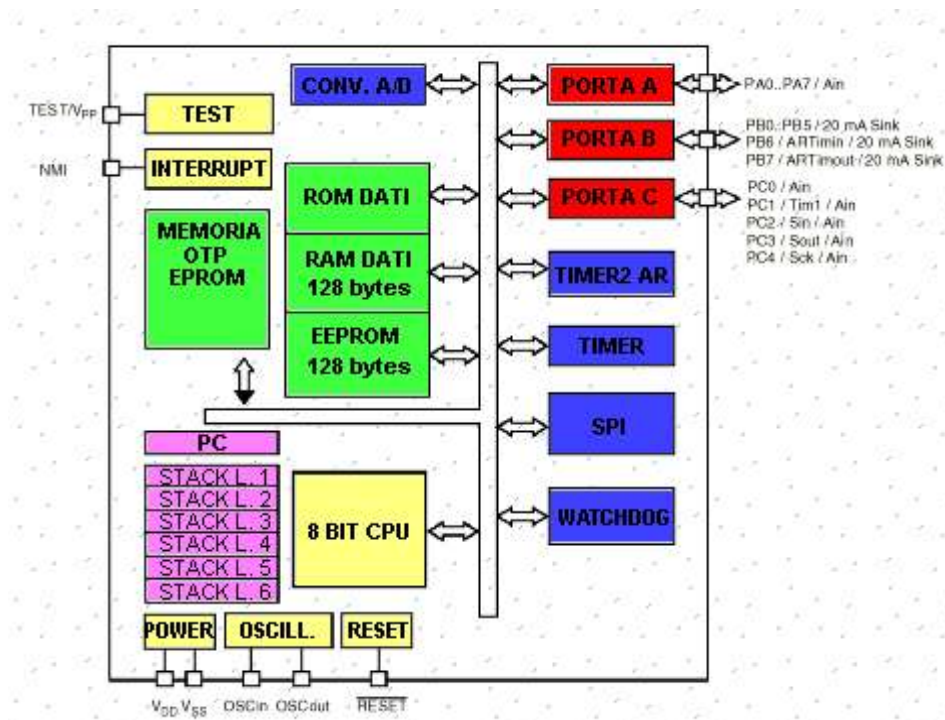
ADC: convertitore analogico/digitale: converte dati analogici

· *Bus*

Indirizzi: contiene l'indirizzo della cella di memoria o del registro che deve essere scritto o letto un dato

Dati: contiene il dato letto o scritto

Controllo: contiene i segnali che regolano il flusso degli indirizzi e dei dati.

Schema a blocchi

Piedinatura

ST6265

PB0	1	28	PC0/Ain
PB1	2	27	PC1/Ain
TEST	3	26	PC2/Ain
PB2	4	25	PC3/Ain
PB3	5	24	PC4/Ain
PB4	6	23	NMI
PB5	7	22	RESET
PB6	8	21	OSC out
PB7	9	20	OSC in
Ain/PA0	10	19	PA7/Ain
Vdd	11	18	PA6/Ain
Vss	12	17	PA5/Ain
Ain/PA1	13	16	PA4/Ain
Ain/PA2	14	15	PA3/Ain

VDD e VSS:
Ingressi di alimentazione (VDD positivo e VSS negativo), su questi piedini va applicata una tensione stabilizzata compresa tra i 3 e i 6 volt (tipicamente 5 volt) e, normalmente, un condensatore elettrolitico di disaccoppiamento con capacità compresa tra 0,1 e 1 µF.

OSCin e OSCout:
Questi piedini sono collegati all'oscillatore interno del micro che serve a generare il *clock* di sistema. Quando si seleziona l'opzione "*Quartz/Ceramic resonator*", tramite l'Option Byte, è possibile collegare un quarzo, un risonatore ceramico o un segnale di clock esterno con frequenza compresa tra i 2 e gli 8 MHz a questi due piedini. Nel caso più comune, quello del quarzo, vanno collegati anche due condensatori ceramici di capacità compresa tra 12 e 22 pF fra i piedini e la massa. Selezionando invece l'opzione "*RC oscillator*" è sufficiente collegare fra il piedino OSCout e la massa una resistenza. Sui microcontrollori sprovvisti di Option Byte l'impostazione predefinita è "Quartz/Ceramic resonator".

RESET:
Quando questo piedino viene cortocircuitato a massa si causa un reset del microcontrollore facendo ripartire il programma dall'inizio. Normalmente va mantenuto a livello logico alto (VDD) tramite una resistenza da 100 Kohm collegata al positivo e un condensatore elettrolitico da 1 µF collegato a massa, questa rete RC provoca un reset automatico ogni volta che il circuito viene alimentato, garantendo così il corretto funzionamento del micro.

TEST (VPP):
Durante il funzionamento normale questo piedino va mantenuto a massa (VSS), sebbene ciò avvenga in automatico (tramite una resistenza di *pull-down* interna al micro), è tuttavia consigliabile collegarlo fisicamente al negativo di alimentazione onde evitare il danneggiamento del programma contenuto in memoria. Soltanto durante la programmazione, il piedino si trova a livello logico 1 (VDD) e viene portato a +12,5 volt (VPP) dal programmatore per trasferire i dati all'interno del micro.

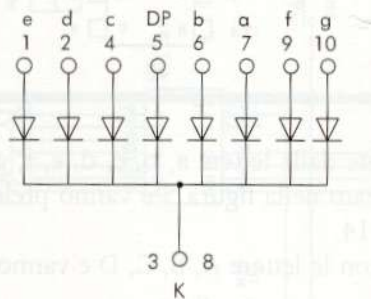
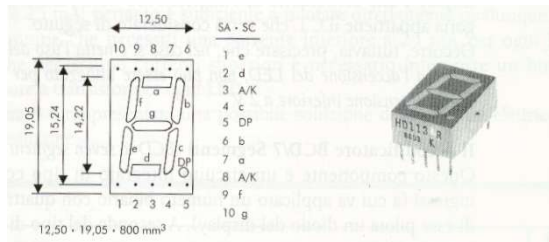
NMI:
Ingresso asincrono associato alla gestione dell'*Interrupt non mascherabile*. Applicando un fronte di discesa a questo piedino (segnale negativo), si obbliga il microcontrollore a sospendere lo svolgimento del programma principale (indipendentemente da quello che sta facendo), e ad eseguire una *subroutine* (sottoprogramma) opportunamente programmata. Se non utilizzato, questo piedino va collegato al positivo d'alimentazione (VDD); nei microcontrollori dotati di Option Byte è comunque possibile attivare la resistenza interna di *pull-up*.

TIMER:
Questo piedino, come suggerisce il nome, è collegato al contatore interno denominato per l'appunto *Timer*. Il suo uso dipende da come viene configurato via software, può essere utilizzato come ingresso per far partire il conteggio del timer o come uscita per attivare un dispositivo allo scadere del tempo stabilito. Su questo piedino, è anche possibile prelevare dei segnali ad onda quadra con frequenze impostate da software (utilissimo per creare dei generatori PWM). Anche per questo piedino è possibile attivare la resistenza interna di *pull-up* utilizzando l'Option Byte, sui microcontrollori sprovvisti di questa possibilità la resistenza (quando necessaria) deve essere montata all'esterno.

PA0 - PA3, PA4 - PA7:*
Questi otto piedini appartengono al primo blocco di porte I/O (Ingresso/Uscita) utilizzate dal microcontrollore per dialogare con il mondo esterno. Sono configurabili via software in sei modi diversi ed in maniera indipendente l'uno dall'altro (anche più volte durante lo svolgimento del programma). I possibili modi di funzionamento sono: Ingresso semplice, ingresso con resistenza di pull-up, ingresso analogico (collegato al convertitore A/D), ingresso associato ad interrupt, uscita *push-pull* e uscita *open-drain*. Le porte da PA0 a PA3 non possono essere utilizzate come ingressi analogici, ma quando configurate come uscite open-drain, possono supportare correnti fino a 20 mA (normalmente le altre porte gestiscono correnti massime di 5 mA) in grado di comandare direttamente LED o piccoli relè.
* Le porte da PA4 a PA7 non sono disponibili sui micro ST6210 e ST6220.

PB0 - PB7:
Secondo blocco di porte I/O, il loro funzionamento è analogo a quello delle porte PA0-PA7, con la sola differenza di gestire 5 mA di corrente massima in uscita e di poter utilizzare l'ingresso analogico su tutte le porte.

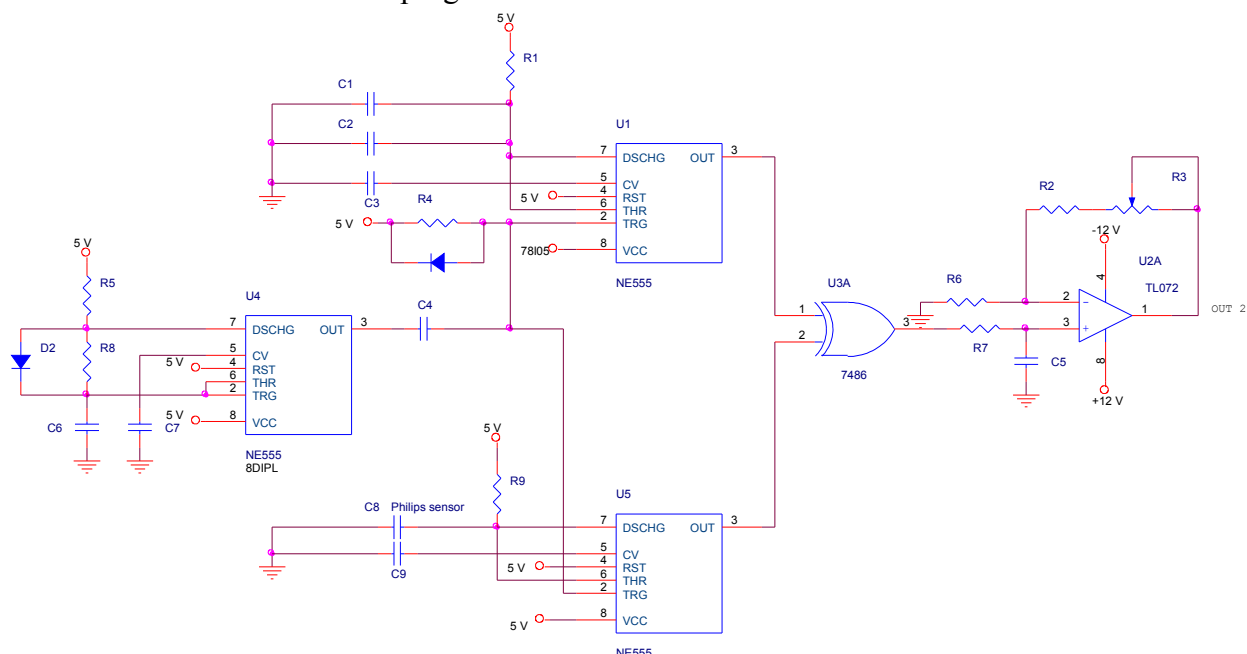
PC4 - PC7:*
Terzo blocco di porte I/O, in questo caso le linee sono solo quattro, ma il loro funzionamento è identico alle porte PA4-PA7.
* Le porte da PC4 a PC7 non sono disponibili sui micro ST6210 e ST6220.

Circuito di visualizzazione

Questa parte del circuito è composta da 4 display ad anodo comune a sette segmenti pilotati da un solo decoder-driver per display. Infatti i segmenti dei quattro display sono collegati in parallelo mentre le alimentazioni (sull'anodo) vengono comandate da quattro transistor PNP BC327 a loro volta pilotati dal microcontrollore. Tale sistema funziona nel seguente modo:

- Il microcontrollore attiva un display;
- Il microcontrollore invia la parola digitale, corrispondente alla cifra da visualizzare su quel display, di 4 bit BCD al decoder driver per display;
- Quest'operazione viene ripetuta ciclicamente per tutti e quattro i display ad una frequenza molto alta che non consente all'occhio di coglierne eventuali variazioni di luminosità dei segmenti. Inoltre, al fine di evitare l'utilizzo di un'altro display, viene utilizzato un diodo LED rettangolare per la visualizzazione di valori negativi la cui gestione dell'accensione è associata direttamente al microcontrollore.

Dimensionamento dei componenti

Dimensionamento del circuito di misura del rivelatore capacitivo di umidità Philips 2322-691-90001

Analizzando lo schema a blocchi riportato in circuito di misura del paragrafo “Principio di funzionamento e circuito di misura del rivelatore capacitivo di umidità Philips 2322-691-90001” delle “analisi delle richieste di progetto” è stato stilato il sottostante schema elettrico:

Il dispositivo produce in uscita un segnale il cui duty-cycle ci permette di risalire al valore della capacità assunta dal sensore “Philips 2322-691-90001” variabile, com'è visibile nel grafico riportato in “Principio di funzionamento e circuito di misura del rivelatore capacitivo di umidità Philips 2322-691-90001”, fra 112 pF e 144 pF; e quindi al valore di umidità relativa presente

nell'atmosfera al quale è, in prima approssimazione, legato in modo direttamente proporzionale. I due monostabili producono, sincronizzati dall'astabile, due sequenze di impulsi, di durata pari a T_A e T_B, identiche quando la capacità del sensore “Philips 2322-691-90001” assume il suo minimo valore. In questo caso infatti i monostabili presentano la stessa costante di tempo. Quando, invece, questa capacità è maggiore del valore di $C_1//C_2$ gli impulsi forniti dal monostabile *U5* durano più a lungo. La porta EX-OR genera in uscita degli impulsi, alla frequenza dell'astabile, di durata pari alla differenza tra T_B e T_A.
Al fine di evitare malfunzionamenti per entrambe i blocchi monostabili è stata scelta una costante di tempo con una resistenza di valore inferiore al MΩ, ovvero pari a 820 kΩ. Di conseguenza avremmo che T_A e T_B possono assumere i sottoriportati valori:

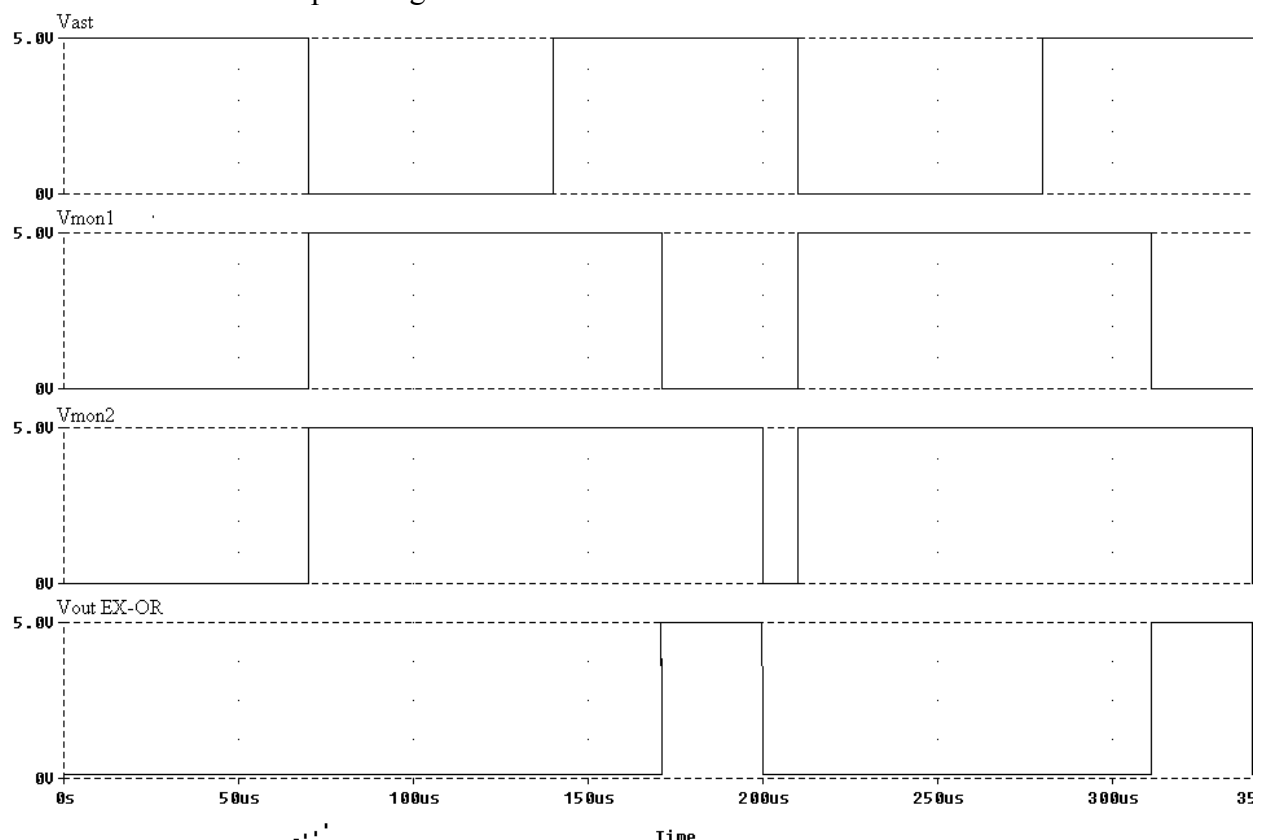
$$T_A=1{,}1*R_1*C_{par}=1{,}1*112\,pF*820\,k\Omega=101{,}024\,\mu s$$

$$T_{B_{MIN}}=1{,}1*R_9*C_{sen_{MIN}}=1{,}1*112\,pF*820\,k\Omega=101{,}024\,\mu s$$

$$T_{B_{MAX}}=1{,}1*R_9*C_{sen_{MAX}}=1{,}1*144\,pF*820\,k\Omega=129{,}888\,\mu s$$

Il periodo del segnale fornito dall'astabile dev'essere minore della durata dell'impulso T_{bmax}. Si dimensiona, quindi, questo blocco al fine di ottenere un segnale di periodo 140 µs.
Utilizzando un condensatore da 1 nF e sapendo che $T_H=T_L=0{,}69*R_5*C_6$ dove $R_5=R_8$ si ha che:

$$R_5=R_8=\frac{70\,\mu s}{0{,}69*1\,nF}=101{,}45\,k\Omega$$

Nella realizzazione pratica utilizziamo, quindi $R_5=R_8=100$ kΩ.
Riportiamo, di seguito, i grafici temporali dell'andamento dei segnali in uscita dell'astabile, dei due monostabili e della porta logica EX-OR.

Nel tracciare i grafici soprariportati l'uscita del monostabile 2 (*U5*) si trova nello stato in cui il sensore assuma un valore di capacità pari a 144 pF (90% d'umidità relativa).
E' possibile dunque dedurre che il duty cycle del segnale d'uscita varia fra i sottostanti valori calcolati:

$$\delta_{MIN}=\frac{T_{B_{MIN}}-T_A}{T_{TOT}}=0\quad\%$$

$$\delta_{MAX}=\frac{T_{B_{MAX}}-T_A}{T_{TOT}}*100=20{,}9$$

Il valore medio del segnale d'uscita della porta EX-OR è, quindi:

$$V_{medio}=\frac{5\,V*\delta_{MAX}}{100}=1{,}05\,V$$

Per estrarre il valor medio è stato utilizzato un filtro passa-basso attivo del primo ordine con frequenza di taglio pari a 10 Hz.
Sapendo che:

$$f_t=\frac{1}{2*\pi*R*C}$$

e ponendo C=1µF, è stata calcolata il valore della resistenza R:

$$R=\frac{1}{2*\pi*f_t*C}=15{,}9\,k\,\Omega$$

Utilizzando i valori di resistenze della serie E12 tale resistenza è stata posta pari a 15 kΩ.

Siccome il microcontrollore, nei suoi ingressi analogici, assume valori compresi fra 0 e 5 V, il guadagno del filtro attivo dev'essere pari a:

$$A=\frac{5}{V_{medio}*|F_{(j\omega)}|}$$

dove |F(jω)| rappresenta il modulo della funzione di trasferimento del filtro (senza considerare l'effetto dell'amplificatore non invertente) e vale:

$$|F(j\omega)|=\frac{1}{\sqrt{1+\omega^2*R^2*C^2}}=0{,}727$$

Quindi il guadagno del filtro attivo dev'essere pari a:

$$A=6{,}54$$

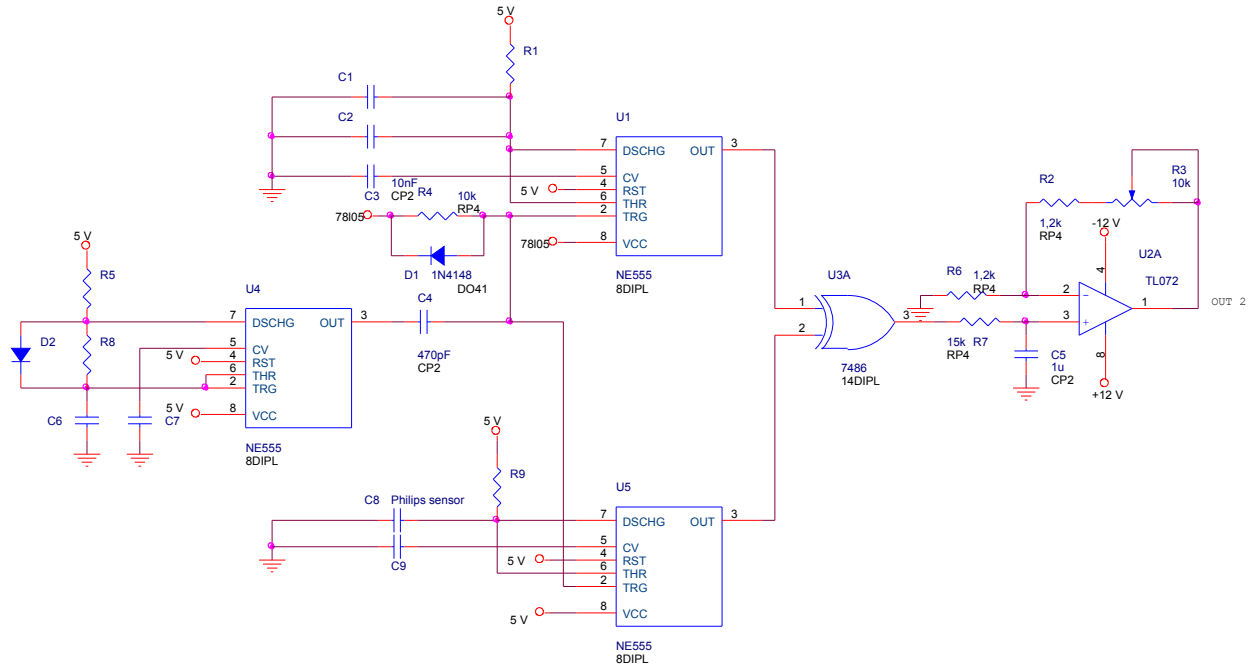
Sapendo che il guadagno di un filtro attivo non invertente è pari a:

$$A=\frac{R_2+R_3}{R_6}+1$$

e ponendo R_6=1,2kΩ, è possibile ricavare il valore di R_2+R_3:

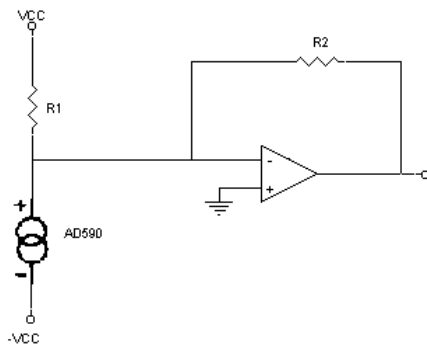
$$R_2+R_3=6{,}65k\Omega$$

Ai fini pratici viene utilizzato un trimmer da 10 kΩ in serie ad una resistenza da 1,2 kΩ al fine di poter regolare il guadagno da 2 a 10.

Lo schema utilizzato per il montaggio di questa parte del progetto è, quindi, sottoriportato:

La rete d'innesco del monostabile è stata dimensionata affinché il prodotto *R*C* sia minore della costante di tempo dei due monostabili. In questo caso è stato necessario inserirla in quanto $T_{TOTast}>T_0$.
Infatti:

$$C_4*R_4<R_1*C_1//C_2$$
$$4,7*10^{-6}\ s<91,84*10^{-6}\ s$$

Dimensionamento del circuito di misura del sensore di temperatura con uscita in corrente AD590

Analizzando il circuito applicativo riportato in “Principio di funzionamento e circuito di misura del sensore di temperatura con uscita in corrente AD590”, riportato in figura sono state dimensionate le resistenze R_1 ed R_2.

$$R_1 = \frac{V_{CC}}{I_{min}} = \frac{12\,V}{253\,\mu A} = 47{,}43\,k\,\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_{O_{max}}}{\Delta I} = \frac{V_{O_{max}}}{I_{MAX_{R_2}} - I_{MIN_{R_1}}} = \frac{5\,V}{323\,\mu A - 253\,\mu A} = 71{,}43\,k\,\Omega$$

La corrente I_{MIN} è data da:

$$I_{min} = 273\,\mu A + 1\,\mu A * (-20\,°C) = 253\,\mu A$$

dove:

273 μA=corrente che fornisce l'AD590 a 0°C

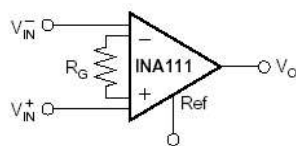
1 μA=incremento di corrente in uscita dell'AD590 in corrispondenza ad un aumento di temperatura di 1 °C.

-20 °C=temperatura al quale valore si vuole ottenere, in uscita del convertitore corrente-tensione un segnale di 0 V.

La corrente I_{MAXR2} è data da:

$$I_{min} = 273\,\mu A + 1\,\mu A * (50\,°C) = 323\,\mu A$$

Dimensionamento del circuito di misura del sensore di pressione atmosferica con uscita in tensione MPX2000

L'adattamento del circuito di misura del sensore di pressione atmosferica con uscita in tensione MPX2000 è il più semplice dei tre in quanto l'uscita in tensione è direttamente proporzionale alla pressione atmosferica, a 0 atm fornisce 0 V; a 1,97 atm fornisce 40 mV. Essendo la pressione di fondoscala specificata nelle richieste di progetto pari a 1,2 atm; la tensione d'uscita in corrispondenza a questa pressione risulta pari a: $V_{out_{1,2}atm} = \frac{V_{out_{MAX}}}{P_{FS}} * 1{,}2\,atm = 24{,}37\,mV$

Utilizzando un amplificatore per strumentazione (INA 111) e sapendo che il suo guadagno è dettato dalla formula:

$$A = 1 + \frac{50\,k\,\Omega}{R_G}$$

E ponendo il guadagno pari a: $A = \frac{V_{out_{MAX}}}{V_{out_{1,2}atm}} = 205{,}2$

si ricava una R_G pari a: $R_G = \frac{50\,k\,\Omega}{A-1} = 244{,}86\,\Omega$

Programma per ST6 per la rilevazione dei dati relativi a pressione, temperatura e umidità e successiva visualizzazione con trasmissione seriale a distanza

```
;***********************   Registri per uso generale   ************************

x           def 080h                ;Registro X
y           def 081h                ;Registro Y
v           def 082h                ;Registro V
w           def 083h                ;Registro W
a           def 0FFh                ;Accumulatore

;***********************   Registri per le porte I/O   ************************

port_a      .def 0C0h               ;Data Register A Port
port_b      .def 0C1h               ;Data Register B Port
port_c      .def 0C2h               ;Data Register B Port

pdir_a      .def 0C4h               ;Data Direction Reg. A Port
pdir_b      .def 0C5h               ;Data Direction Reg. B Port
pdir_c      .def 0C6h               ;Data Direction Reg. B Port

popt_a      .def 0CCh               ;Option Register A Port
popt_b      .def 0CDh               ;Option Register B Port
popt_c      .def 0CEh               ;Option Register B Port

;*************************   Registro di interrupt    ************************

ior         .def 0C8h               ;

;*************************   Registro data rom window   **********************

drw         .def 0C9h               ;

;**************************   Registri Timer 2    *****************************

arrc        .def 0D9h               ;reload capture register
arcp        .def 0DAh               ;compare Register
armc        .def 0D5h               ;mode control register
arsc0       .def 0D6h               ;status control register
arsc1       .def 0D7h               ;status control register
arlr        .def 0DBh               ;load register

;**************************   Registri AD converter   ************************

adcr        .def 0D1h               ;Registro di controllo
addr        .def 0D0h               ;Registro dati

;**************************** controllo oscillatore ***************************

oscr        .def 0DCh               ;oscillator control register

;**************************** controllo eeprom ********************************

drbr        .def 0E8h               ;Data RAM/EEPROM bank register
eecr        .def 0EAh               ;eeprom control register

;**************************** registro watchdog *******************************

wdog        .def 0D8h               ;registro watchdog


;********************************** Timer 1 ***********************************
```

```
psc         .def 0d2h               ;Controllo prescaler
tcr         .def 0d3h               ;Registro dati
tscr        .def 0d4h               ;Registro di controllo dati

;******************************** controllo SPI *********************************

spid        .def 0E0h               ;SPI data register
div         .def 0E1h               ;SPI divider register
mod         .def 0E2h               ;SPI mode register
miscr .     def 0DDh                ;miscellaneous register

;************************ definizione eventuali variabili *********************

reg1        .def 084h               ;prima variabile del programma
reg2        .def 085h               ;seconda variabile del programma
reg3        .def 086h               ;terza variabile del programma
MIGLIAIA    .def 087h               ;quarta variabile del programma
CENTINAI    .def 088h               ;quinta variabile del programma
DECINE      .def 089h               ;sesta variabile del programma
UNITA       .def 090h               ;settima variabile del programma
CENTESI     .def 091h
UNITA1      .def 092h
DECINE1     .def 093h
DECIMI1     .def 094h
MILLESI     .def 095h
DECIMIL     .def 096h
CENTMIL     .def 097h
MILMIL      .def 098h
BIT         .def 099h

;************************ inizio programma dall'ind. 080h ********************

            .org  080h                    ;inizio programma
inizio      ldi   wdog,0ffh               ;ricarico watchdog
            ldi   pdir_a,11111111b        ;porta a in ingresso
            ldi   popt_a,00000000b        ;senza interrupt con pullup
            ldi   port_a,00000000b
            ldi   popt_a,11111111b

            ldi   pdir_b,11111111b        ;porta b in uscita open drain
            ldi   popt_b,00000000b
            ldi   port_b,00000000b
            ldi   port_b,11111111b

            ldi   pdir_c,00000000b        ;porta c in ingresso
            ldi   popt_c,00000000b
            ldi   port_c,00000000b

            clr   reg1
            clr   reg2
            clr   reg3

            ldi   tscr,0                  ;disab timer1
            ldi   armc,0                  ;disabilita ARTIM
            ldi   ior,0                   ;disab tutti interupt
            ldi   mod,0                   ;disabilita spi

            reti                          ;ripristina i flag principali

            jp main                       ;salta al programma principale

      t1ad_int reti           ;gestione interrupt adc
```

```
     cspi_int reti          ;gestione interrupt porta
     ab_int reti            ;gestione interrupt porta a
     nmi_int reti           ;gestione interrupt nmi
     artim_int reti         ;gestione interrupt timer1

;******************************** inizio programma ****************************

main ldi wdog,255           ;ricarica il watchdog
     set 7,port_b
     call TEMP              ;richiama il sottoprogramma per la
                            ;ricezione sul piedino Pc0 del dato
                            ;relativo alla temperatura
     call TENTEM                  ;
     clr  BIT               ;resetta il bit che comando il led del
                            ;segno nella visualizzazione della
                            ;temperatura
     call RIT               ;richiama una routine di ritardo
     call PRES              ;richiama il sottoprogramma per la
                            ;ricezione sul piedino Pc1 del dato
                            ;relativo alla pressione
     call TENPRE            ;
     call RIT               ;richiama una routine di ritardo
     call UMID              ;richiama il sottoprogramma per la
                            ;ricezione sul piedino Pc2 del dato
                            ;relativo all'umidità
     call TENUMID           ;
     call RIT               ;richiama una routine di ritardo
     jp main                ;ritorna all'inizio del programma
                            ;principale e esegue di nuovo tutte le
                            ;operazioni

TEMP ldi wdog,255           ;inizio sottoprogramma per
                            ;l'acquisizione della temperatura
     set 0,port_c           ;
     set 0,popt_c           ;
     ldi adcr,00110000b     ;
TEMP1 jrr 6,adcr,TEMP1      ;attende che il microcontrollore
                            ;finisca di convertire il dato
                            ;analogico del sensore di temperatura
                            ;in digitale
     ld  a,addr             ;carica il risultato della conversione
                            ;nel registro a
     ld reg1,a              ;salviamo il dato appena convertito
                            ;nel registro reg1
     res 4,adcr             ;
     res 0,popt_c           ;
     res 0,port_c           ;
     ret                    ;fine del sottoprogramma e ritorno al
                            ;programma principale

PRES ldi wdog,255           ;inizio sottoprogramma per
                            ;l'acquisizione della temperatura
     set 1,port_c           ;
     set 1,popt_c           ;
     ldi adcr,00110000b     ;
PRES1 jrr 6,adcr,PRES1      ;attende che il microcontrollore
                            ;finisca di convertire il dato
                            ;analogico del sensore di pressione
                            ;in digitale
     ld a,addr              ;carica il risultato della conversione
                                  ;nel registro a
           ld reg2,a              ;salviamo il dato appena convertito
                                  ;nel registro reg2
```

```
            res 4,adcr              ;
            res 1,popt_c            ;
            res 1,port_c            ;
            ret                     ;fine del sottoprogramma e ritorno al
                                    ;programma principale

UMID        ldi wdog,255
            set 2,port_c
            set 2,popt_c
            ldi adcr,00110000b
UMID1       ldi wdog,255
            jrr 6,adcr,UMID1
            ld a,addr
            ld reg3,a
            res 4,adcr
            res 2,popt_c
            res 2,port_c
            ret

RIT         ldi y,10                ;inizio routine di ritardo
RIT1        ldi a,255               ;questa routine permette all'utente
RIT2        ldi wdog,255            ;di capire che è variata
            dec a
            jrnz RIT2
            dec y
            jrnz RIT1
            ret

VISTEM      ldi y,3
            call TRASTEM
            jrs 0,BIT,VISTEM2

VISTEMP     ldi w,255
VISTEM1     ldi wdog,255
            set 5,port_b
            ldi a,00001010b         ;cifra di destra
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                    ;valore da visualizzare
                                    ;sul display di destra
            ldi port_b,01011110b    ;abilita trans.destra
            call DELAY
            ldi port_b,01011111b    ;disabilita trans.destra
            ld a,DECIMI1            ;cifra secondo display
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                    ;valore da visualizzare
                                    ;sul secondo display
            ldi port_b,01011101b    ;abilita trans.decine
            call DELAY
            ldi port_b,01011111b    ;disabilita trans.secondo display
            ld a,UNITA1             ;cifra terzo display
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                    ;valore da visualizzare
                                    ;sul terzo display
            ldi port_b,01011011b    ;abilita terzo trans.
            call DELAY
            ldi port_b,01011111b    ;disabilita terzo trans.
            ld a,DECINE1            ;cifra quarto display
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                    ;valore da visualizzare
                                    ;sul quarto display
            ldi port_b,01010111b    ;abilita quarto trans.
            call DELAY
            ldi port_b,01011111b    ;disabilita quarto trans.
```

```
          dec w
          jrz SOTTO
          jp VISTEM1
SOTTO     dec y
          jrz SOTTO1
          jp  VISTEMP
SOTTO1    jp FINETEM

VISTEM2   ldi w,255
VISTEM3   ldi wdog,255
          set 5,port_b
          ldi a,00001010b        ;cifra di destra
          ld port_a,a            ;mette sulla porta a il
                                 ;valore da visualizzare
                                 ;sul display di destra
          ldi port_b,01001110b   ;abilita trans.destra
          call DELAY
          ldi port_b,01001111b   ;disabilita trans.destra
          ld a,DECIMI1           ;cifra secondo display
          ld port_a,a            ;mette sulla porta a il
                                 ;valore da visualizzare
                                 ;sul secondo display
          ldi port_b,01001101b   ;abilita trans.decine
          call DELAY
          ldi port_b,01001111b   ;disabilita trans.secondo display
          ld a,UNITA1            ;cifra terzo display
          ld port_a,a            ;mette sulla porta a il
                                 ;valore da visualizzare
                                 ;sul terzo display
          ldi port_b,01001011b   ;abilita terzo trans.
          call DELAY
          ldi port_b,01001111b   ;disabilita terzo trans.
          ld a,DECINE1           ;cifra quarto display
          ld port_a,a            ;mette sulla porta a il
                                 ;valore da visualizzare
                                 ;sul quarto display
          ldi port_b,01000111b   ;abilita quarto trans.
          call DELAY
          ldi port_b,01001111b   ;disabilita quarto trans.
          dec w
          jrz SOTTO2
          jp VISTEM3
SOTTO2    dec y
          jrz FINETEM
          jp  VISTEM2
FINETEM   ret

                                 ;5/70=71,42857143*10^-3
                                 ;5/256=19,53125*10^-3
                                 ;19,53125/71,42857143=273,4375*10^-3
                                 ;73=01001001
                                 ;11111111-01001001=10110110=182
                                 ;182/2=91=01011011
                                 ;D=-200+B(200/73)
                                 ;D=(B-73)(250/91)
                                 ;D=(B-164)(250/91)


VISPRES   ldi y,3
          call TRASPRE
VISPRE    ldi w,255
VISPRE1   ldi wdog,255
          set 6,port_b
```

```
            ld a,MILLESI            ;cifra di destra
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                    ;valore da visualizzare
                                    ;sul display di destra
            ldi port_b,00111110b    ;abilita trans.destra
            call DELAY
            ldi port_b,00111111b    ;disabilita trans.destra
            ld a,CENTESI            ;cifra secondo display
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                    ;valore da visualizzare
                                    ;sul secondo display
            ldi port_b,00111101b    ;abilita trans.decine
            call DELAY
            ldi port_b,00111111b    ;disabilita trans.secondo display
            ld a,DECIMI1            ;cifra terzo display
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                    ;valore da visualizzare
                                    ;sul terzo display
            ldi port_b,00111011b    ;abilita terzo trans.
            call DELAY
            ldi port_b,00111111b    ;disabilita terzo trans.
            ld a,UNITA1             ;cifra quarto display
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                    ;valore da visualizzare
                                    ;sul quarto display
            ldi port_b,00110111b    ;abilita quarto trans.
            call DELAY
            ldi port_b,00111111b    ;disabilita quarto trans.
            dec w
            jrz FINEPR
            jp VISPRE1
FINEPR      dec y
            jrz FINEPRE
            JP VISPRE
FINEPRE     ret

VISUMID     ldi y,3
            call TRASUMI
VISUMIDI    ldi w,255
VISUMID1    ldi wdog,255
            set 5,port_b
            ld a,CENTESI            ;cifra di destra
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                    ;valore da visualizzare
                                    ;sul display di destra
            ldi port_b,01011110b    ;abilita trans.destra
            call DELAY
            ldi port_b,01011111b    ;disabilita trans.destra
            ld a,DECIMI1            ;cifra secondo display
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                    ;valore da visualizzare
                                    ;sul secondo display
            ldi port_b,01011101b    ;abilita trans.decine
            call DELAY
            ldi port_b,01011111b    ;disabilita trans.secondo display
            ld a,UNITA1             ;cifra terzo display
            ld port_a,a             ;mette sulla porta a il
                                          ;valore da visualizzare
                                          ;sul terzo display
            ldi port_b,01011011b          ;abilita terzo trans.
            call DELAY
            ldi port_b,01011111b          ;disabilita terzo trans.
            ld a,DECINE1                  ;cifra quarto display
```

```
            ld port_a,a                   ;mette sulla porta a il
                                          ;valore da visualizzare
                                          ;sul quarto display
            ldi port_b,01010111b          ;abilita quarto trans.
            call DELAY
            ldi port_b,01011111b          ;disabilita quarto trans.
            dec w
            jrz FINEUM
            jp VISUMID1
FINEUM      dec y
            jrz FINEUMID
            JP VISUMIDI
FINEUMID    ret

TENTEM      ldi wdog,255
            clr MIGLIAIA
            clr CENTINAI
            clr DECINE
            clr UNITA
            clr CENTESI
            clr UNITA1
            clr DECINE1
            clr DECIMI1
            clr MILLESI

            ld  a,reg1
            cpi a,73
            jrc TEMPNEG
            subi a,73
            jp  TEMPPOS
TEMPNEG     ldi BIT,00000001b
            ldi a,73
            sub a,reg1
            jp CONV1
TEMPPOS     cpi a,100
            jrnc SALTO2
            jp CONV1
SALTO2      subi a,100
            ldi DECINE1,2
            ldi UNITA1,7
            ldi DECIMI1,4
            ldi CENTESI,5
            jp CONV1
CONV0       ld a,x
CONV1       ldi wdog,255
            cpi a,10
            jrnc SALTO3
            jp CONV001
SALTO3      subi a,10
            ld x,a
            ld a,UNITA1
            addi a,2
            ld UNITA1,a
            ld a,DECIMI1
            addi a,7
            ld DECIMI1,a
            ld a,CENTESI
            addi a,4
            ld CENTESI,a
            ld a,MILLESI
            addi a,5
            ld MILLESI,a
            jp CONV0
```

```
            ldi wdog,255
CONV01      ld a,x
CONV001     ldi wdog,255
            cpi a,0
            jrnz SALTO
            jp CONV6
SALTO       dec a
            ld x,a
            ld a,DECIMI1
            addi a,2
            ld DECIMI1,a
            ld a, CENTESI
            addi a,7
            ld CENTESI,a
            ld a,MILLESI
            addi a,4
            ld MILLESI,a
            jp CONV01
CONV6       ld a,MILLESI
            ldi wdog,255
CONV06      cpi a,10
            jrc CONV2
            inc CENTESI
            subi a,10
            ld MILLESI,a
            jp CONV06
CONV2       ld a,CENTESI
            ldi wdog,255
CONV02      cpi a,10
            jrc CONV3
            inc DECIMI1
            subi a,10
            ld CENTESI,a
            jp CONV02
CONV3       ld a,DECIMI1
            ldi wdog,255
CONV03      cpi a,10
            jrc CONV4
            inc UNITA1
            subi a,10
            ld DECIMI1,a
            jp CONV03
CONV4       ld a,UNITA1
            ldi wdog,255
CONV04      cpi a,10
            jrc DISPLAY1
            inc DECINE1
            subi a,10
            ld UNITA1,a
            jp CONV04
DISPLAY1    jp VISTEM

TENPRE      ldi wdog,255
            clr MIGLIAIA
            clr CENTINAI
            clr DECINE
            clr UNITA
            clr CENTESI
            clr UNITA1
            clr DECINE1
            clr DECIMI1
            clr MILLESI
            clr DECIMIL
```

```
            clr CENTMIL
            clr MILMIL
            ld  a,reg2
SALTO7      cpi a,100
            jrnc SALTO4
            jp CONV11
SALTO4      subi a,100
            ld x,a
            ld  a,DECIMI1
            addi a,4
            ld DECIMI1,a
            ld a,CENTESI
            addi a,6
            ld CENTESI,a
            ld a,MILLESI
            addi a,8
            ld MILLESI,a
            ld a,DECIMIL
            addi a,8
            ld DECIMIL,a
            ld a,x
            jp SALTO7
CONV110     ld a,x
CONV11      ldi wdog,255
            cpi a,10
            jrnc SALTO5
            jp CONV1001
SALTO5      subi a,10
            ld x,a
            ld a,CENTESI
            addi a,4
            ld CENTESI,a
            ld a,MILLESI
            addi a,6
            ld MILLESI,a
            ld a,DECIMIL
            addi a,8
            ld DECIMIL,a
            ld a,CENTMIL
            addi a,8
            ld CENTMIL,a
            jp CONV110
            ldi wdog,255
CONV101     ld a,x
CONV1001    ldi wdog,255
            cpi a,0
            jrnz SALTO6
            jp CONV16
SALTO6      dec a
            ld x,a
            ld a,MILLESI
            addi a,4
            ld MILLESI,a
            ld a, DECIMIL
            addi a,6
            ld DECIMIL,a
            ld a,CENTMIL
            addi a,8
            ld CENTMIL,a
            ld a,MILMIL
            addi a,8
            ld MILMIL,a
            jp CONV101
```

```
CONV16      ld a,MILMIL
            ldi wdog,255
CONV106     cpi a,10
            jrc CONV12
            inc CENTMIL
            subi a,10
            ld MILMIL,a
            jp CONV106
CONV12      ld a,CENTMIL
            ldi wdog,255
CONV102     cpi a,10
            jrc CONV13
            inc DECIMIL
            subi a,10
            ld CENTMIL,a
            jp CONV102
CONV13      ld a,DECIMIL
            ldi wdog,255
CONV103     cpi a,10
            jrc CONV14
            inc MILLESI
            subi a,10
            ld DECIMIL,a
            jp CONV103
CONV14      ld a,MILLESI
            ldi wdog,255
CONV104     cpi a,10
            jrc CONV15
            inc CENTESI
            subi a,10
            ld MILLESI,a
            jp CONV104
CONV15      ld a,CENTESI
            ldi wdog,255
CONV105     cpi a,10
            jrc CONV17
            inc DECIMI1
            subi a,10
            ld CENTESI,a
            jp CONV105
CONV17      ld a,DECIMI1
            ldi wdog,255
CONV107     cpi a,10
            jrc DISPLAY2
            inc UNITA1
            subi a,10
            ld DECIMI1,a
            jp CONV107
DISPLAY2    jp VISPRES

TENUMID     ldi wdog,255
            clr MIGLIAIA
            clr CENTINAI
            clr DECINE
            clr UNITA
            clr CENTESI
            clr UNITA1
            clr DECINE1
            clr DECIMI1
            clr MILLESI
            ld  a,reg3
SALT1       cpi a,100
            jrnc SALT2
```

```
                jp CON1
SALT2           subi a,100
                ld x,a
                ld  a,DECINE1
                addi a,3
                ld DECINE1,a
                ld a,UNITA1
                addi a,1
                ld UNITA1,a
                ld a,DECIMI1
                addi a,3
                ld DECIMI1,a
                ld a,CENTESI
                addi a,7
                ld CENTESI,a
                ld a,MILLESI
                addi a,3
                ld MILLESI,a
                ld a,x
                jp SALT1
CON0            ld a,x
CON1            ldi wdog,255
                cpi a,10
                jrnc SALT3
                jp CON001
SALT3           subi a,10
                ld x,a
                ld a,UNITA1
                addi a,3
                ld UNITA1,a
                ld a,DECIMI1
                addi a,1
                ld DECIMI1,a
                ld a,CENTESI
                addi a,3
                ld CENTESI,a
                ld a,MILLESI
                addi a,7
                ld MILLESI,a
                jp CON0
                ldi wdog,255
CON01           ld a,x
CON001          ldi wdog,255
                cpi a,0
                jrnz SALT4
                jp CON6
SALT4           dec a
                ld x,a
                ld a,DECIMI1
                addi a,3
                ld DECIMI1,a
                ld a, CENTESI
                addi a,1
                ld CENTESI,a
                ld a,MILLESI
                addi a,3
                ld MILLESI,a
                jp CON01
CON6            ld a,MILLESI
                ldi wdog,255
CON06           cpi a,10
                jrc CON2
                inc CENTESI
```

```
            subi a,10
            ld MILLESI,a
            jp CON06
CON2        ld a,CENTESI
            ldi wdog,255
CON02       cpi a,10
            jrc CON3
            inc DECIMI1
            subi a,10
            ld CENTESI,a
            jp CON02
CON3        ld a,DECIMI1
            ldi wdog,255
CON03       cpi a,10
            jrc CON4
            inc UNITA1
            subi a,10
            ld DECIMI1,a
            jp CON03
CON4        ld a,UNITA1
            ldi wdog,255
CON04       cpi a,10
            jrc DISPLAY3
            inc DECINE1
            subi a,10
            ld UNITA1,a
            jp CON04
DISPLAY3    inc DECINE1
            jp VISUMID

DELAY       ldi v,255
DECV        dec v
            ldi wdog,255
            jrnz DECV
            ret

TRASTEM     ldi wdog,255
            jrs 0,BIT,TT1
bit1        ldi a,10
            res 7,port_b
            dec a
            jrnz bit1
bit2        ldi a,10
            res 7,port_b
            dec a
            jrnz bit2
bit3        ldi a,10
            res 7,port_b
            dec a
            jrnz bit3
bit4        ldi a,10
            set 7,port_b
            dec a
            jrnz bit4
bit5        ldi a,10
            set 7,port_b
            dec a
            jrnz bit5
bit6        ldi a,10
            res 7,port_b
            dec a
```

```
            jrnz bit6
bit7        ldi a,10
            set 7,port_b
            dec a
            jrnz bit7
bit8        ldi a,10
            res 7,port_b
            dec a
            jrnz bit8
bitrit      ldi a,100
            set 7,port_b
            dec a
            jrnz bitrit


TRASPRE

TRASUMI
;***************************** vettori di interrupt **************************

            .org 0ff0h
            jp t1ad_int        ;interupt a/d e timer1 vett#4
            jp artim_int             ;interupt artimer vett#3
            jp cspi_int        ;interupt porte c e spi vett#2
            jp ab_int                ;interupt porta a e b vett#1

            .org 0ffch
            jp mnmi_int        ;interupt non mascherabile vett#0
            jp inizio                ;reset
            .end
```

Schema elettrico

Per sviluppare il progetto dello schema elettrico è stato utilizzato il computer che è un ottimo strumento di lavoro. Vi sono diversi programmi utili a tale scopo fra i quali OrCad Capture. Nella pagina seguente viene riportato lo schema elettrico totale del progetto.

Elenco dei componenti riferiti allo schema elettrico

N°	Quantità	Riferimento	Descrizione
1	1	C1	Condensatore ceramico 12pF; passo 2,5 mm
2	1	C2	Condensatore ceramico 100pF; passo 2,5mm
3	5	C3,C7,C11,C14,C16	Condensatore al poliestere 10nF; passo 5 mm
4	1	C4	Condensatore ceramico 470pF; passo 2,5mm
5	1	C5	Condensatore al poliestere 1u; passo 5 mm
6	1	C6	Condensatore al poliestere 1nF; passo 5 mm
7	2	C9,C8	Condensatore ceramico 33pF; passo 2,5 mm
8	1	C10	Sensore di umidità Philips 2322-691-90001 *
9	1	C12	Condensatore elettrolitico 10uF; passo 2,5 mm
10	1	C13	Condensatore elettrolitico 1uF; passo 2,5 mm
11	2	C15,C17	Condensatore elettrolitico 100uF; passo 2,5 mm
12	3	D1,D6,D7	Diodo 1N4148
13	4	D2,D3,D4,D5	Display ad anodo comune *
14	1	D8	Diodo LED rettangolare
15	1	J2	Sensore di pressione MPX2000*
16	4	Q1,Q2,Q3,Q4	Transistor PNP BC327
17	1	RN1	Rete resistiva 330
18	2	R13,R14	Resistenza 330
19	2	R9,R1	Resistenza 820k
20	2	R2,R6	Resistenza 1k2
21	1	R3	Trimmer verticale da 10k
22	2	R10,R4	Resistenza 10k
23	2	R8,R5	Resistenza 100k
24	1	R7	Resistenza 15k
25	1	R11	Resistenza 470
26	1	R12	Trimmer verticale da 100k
27	4	R15,R17,R18,R20	Resistenza 4k7
28	1	R16	Trimmer verticale da 50k (o 100k)
29	1	R19	Trimmer verticale da 500 (o 1k)
30	3	U1,U4,U6	C.I. NE555 *
31	1	U2	C.I. TL072 (2 op-amp) *
32	1	U3	C.I. TTL 7486 (4 porte ex-or) *
33	1	U5	C.I. ST62T65B (Microcontrollore) *
34	1	U7	C.I. 74LS47 (Decoder driver per display) *
35	1	U8	C.I. 7805 (Stabilizzatore di tensione a 5 V)
36	1	U9	Trasduttore di temperatura AD590
37	1	U10	C.I. INA111(amplificatore strumentazione) *
38	1	Y1	Quarzo 8 MHz
39	1	---	Dissipatore
40	1	---	Stagno (40/60)

N.B.: al posto di: Sensore di umidità Philips 2322-691-90001, Display ad anodo comune, Sensore di pressione, Integrato NE555, Integrato TL072, Integrato TTL 7486, Microcontrollore ST62T65B, Integrato 74LS47 e Integrato INA111; consegnare, in un primo momento una fila da 128 connettori a papavero.
N.N.B.: le resistenze senza riferimento a valori di potenza dissipabile massima sono da considerarsi da ¼ W.

Progetto e realizzazione del circuito stampato

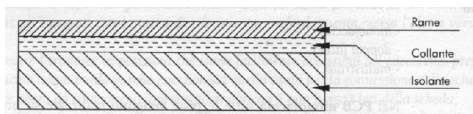
La tecnica del circuito stampato (Printed circuit board) PCB è una delle più usate nella realizzazione dei circuiti elettronici. In essa i componenti vengono fissati su una piastra di materiale isolante, il collegamento dei componenti viene realizzato mediante strisce di rame (piste) incollate alla piastra e le connessioni fra piste e reofori è ottenuta mediante saldatura. Questa tecnica di cablaggio viene detta bidimensionale o in piano per distinguerla da quelle che utilizzano i fili e che si sviluppano su tre dimensioni. La tecnica PCB ha iniziato a diffondersi a livello industriale intorno agli anni 50 e si è rapidamente diffusa in virtù dei suoi numerosi vantaggi; fra i quali ricordiamo:

- *possibilità di automatizzare molte delle sue fasi esecutive;*
- *riduzione dei tempi di esecuzione;*
- *diminuzione della manodopera e dei costi di produzione;*
- *maggiore affidabilità e riduzione degli ingombri.*

L'elemento base del circuito stampato è la piastra o basetta nella quale compaiono tre tipi di materiale: il supporto isolante, il collante, il foglio di rame.

Il supporto isolante deve avere ottime caratteristiche di isolamento, bassa costante dielettrica per evitare la formazione di capacità parassite fra due piste parallele, buona resistenza al calore per resistere durante la fase di saldatura. Sono molto usate la bachelite e la vetronite.

Il collante deve essere in grado di assicurare una perfetta aderenza fra il supporto isolante e le piste di rame, deve possedere bassissima igroscopicità, deve avere caratteristiche elettriche simili a quelle del supporto ed essere abbastanza elastico da consentire la diversa dilatazione dei due materiali che tiene uniti.

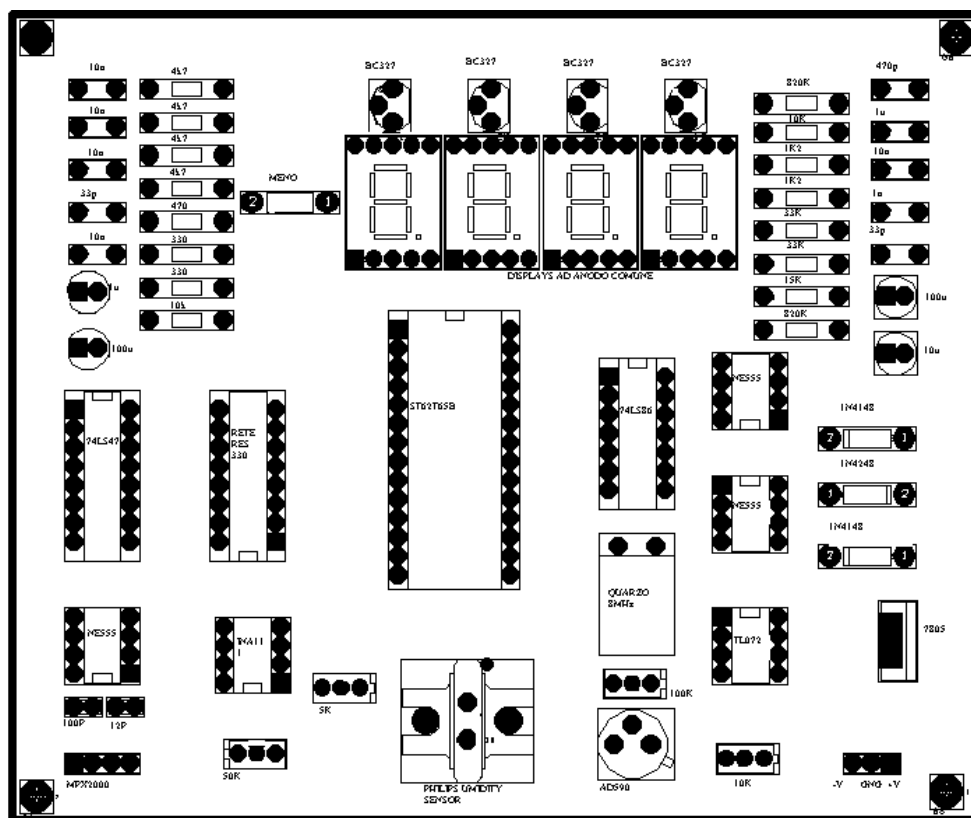
Il rame deve possedere un'alta purezza chimica, fisica e strutturale, deve possedere identiche caratteristiche elettriche e meccaniche in tutti i punti del foglio. Il suo spessore di 35 μm assicura alla sezione delle piste un elevato rapporto fra perimetro e area, consentendo una facile dissipazione del calore ed una forte riduzione dell'effetto pelle. In figura viene riportata la sezione di una piastra per i circuiti stampati. Lo strato di rame, attraverso una serie di operazioni che saranno descritte in seguito, viene ridotto in sottili strisce denominate piste; le quali servono a realizzare i collegamenti fra i vari componenti del circuito. Per questo progetto è stato utilizzato un PCB doppia faccia che consiste nel realizzare su entrambe le facce della basetta, quindi anche dalla parte su cui sono disposti i componenti. Le connessioni fra le piste di una faccia e quelle dell'altra vengono realizzate mediante fori passanti nei quali viene depositato il materiale conduttore che serve a realizzare la continuità elettrica fra un lato e l'altro.

Studio del layout

Lo studio della disposizione dei componenti (layout) rappresenta la prima fase operativa nel progetto del circuito stampato. In questa fase viene decisa la posizione e l'orientamento che ogni componente assumerà sulla scheda e vengono decise le dimensioni della piastra nel caso non fossero già state definite in precedenza.

Durante lo studio del layout vanno rispettate almeno le seguenti regole fondamentali:

- *definire prioritamente la posizione di eventuali fori necessari al fissaggio della scheda;*
- *i componenti vanno disposti rispettando il più possibile la posizione che occupano nello schema elettrico;*
- *tenere i componenti sensibili alla temperatura lontani da quelli che producono calore;*
- *tenere i componenti che producono disturbi (induttanze, trasformatori) lontani dalle parti di circuito con segnali deboli;*
- *i componenti dello stesso tipo (resistori, C.I. ecc.)* vanno raggruppati il più possibile;
- *l'orientamento dei componenti deve essere lo stesso in ogni singolo gruppo;*
- *per l'orientamento dei componenti usare solo le due direzioni parallele ai lati della scheda;*

- *disporre gli integrati con la tacca di riferimento, preferibilmente verso l'alto o verso sinistra;*
- *posizionare i trimmer in posizioni ce siano facilmente accessibili col cianciavate, preferibilmente vicino ad un bordo purché non sia quello usato per la connessione della scheda;*
- *lasciare fra i componenti uno spazio sufficiente per poterli afferrare in caso di sostituzione.*

Il risultato dello studio del layout per il nostro progetto viene sottoriportato in dimensioni originali:

Disegno dello sbrogliato

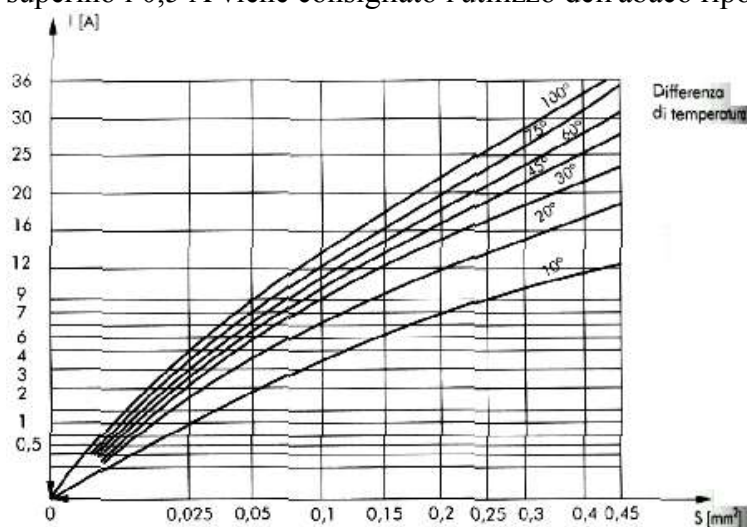
La grossa limitazione del circuito stampato rispetto a quello cablato mediante fili è che il C.S. Non consente l'incrocio di due collegamenti separati elettricamente. Da quanto detto deriva che nello studio del C.S. Occorre evitare l'incrocio delle piste; ciò comporta una dettagliata analisi dello schema elettrico e del layout al fine di individuare percorsi di collegamento che non si incrocino. Si definisce sbroglio o studio dello sbrogliato la ricerca di collegamento privi di incroci. Nel tracciare i percorsi e le piste è necessario attenersi alle seguenti regole:

- *non far passare più di quattro piste fra le due file di piedini di un integrato DIP;*
- *evitare il passaggio di piste fra due piedini contigui dei C.I.; nel caso di assoluta necessità far passare una sola pista;*
- *tener presente che i componenti vanno visti dalla parte bassa, cioè opposta a quella da cui vanno visti guardandoli dal lato componenti (top view);*
- *i punti di connessione degli integrati vanno disposti rispettando la distanza fra i piedini che è di 1/10" (2,54 mm);*
- *le piste devono svilupparsi secondo le due direzioni parallele ai lati della basetta;*
- *i cambiamenti di direzione non devono essere bruschi ma graduali; utilizzando raccordi a 45° o curvi;*
- *lasciare almeno 5 mm privi di piste ai bordi della scheda;*
- *distanziare le piste di una quantità sufficiente ad evitare il corto circuito fra di esse;*

- *ricordare che il collegamento fra due terminali richiede sempre due punti di saldatura ed una pista; anche se questa risulta molto corta;*
- *quando si fanno passare le piste fra due punti di connessione tener conto che il passaggio diventerà più stretto quando verranno sistemate le piazzole , in particolare non far passare più di quattro piste sotto gli integrati ed evitare di passare fra i loro piedini (se è proprio necessario mettere una sola pista).*

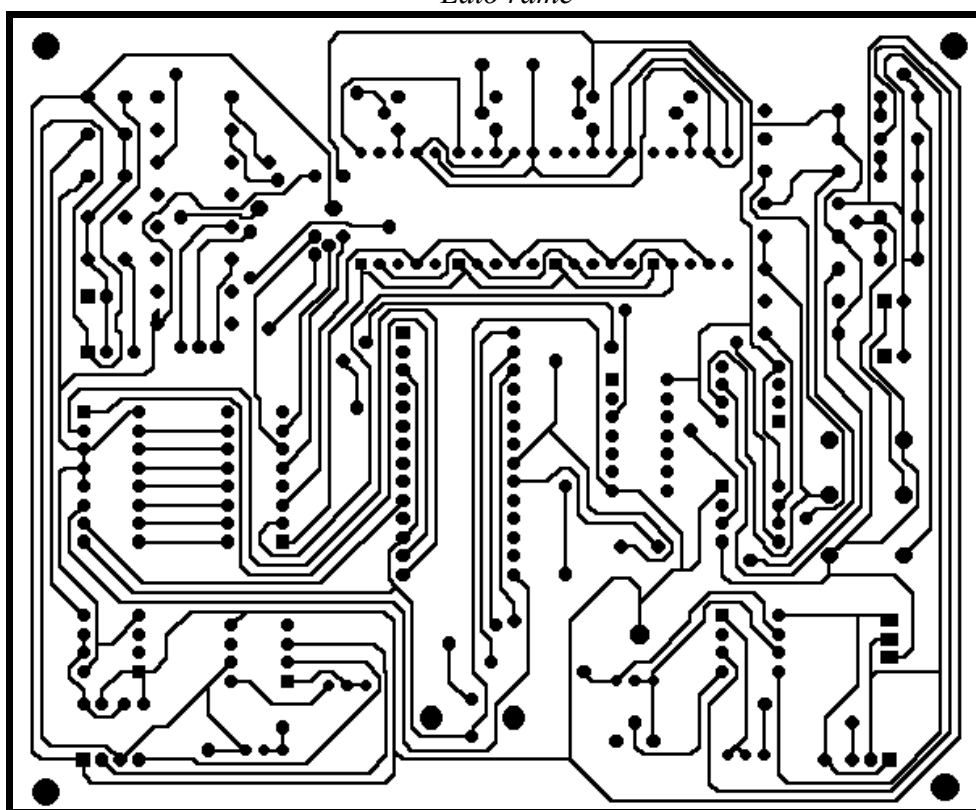
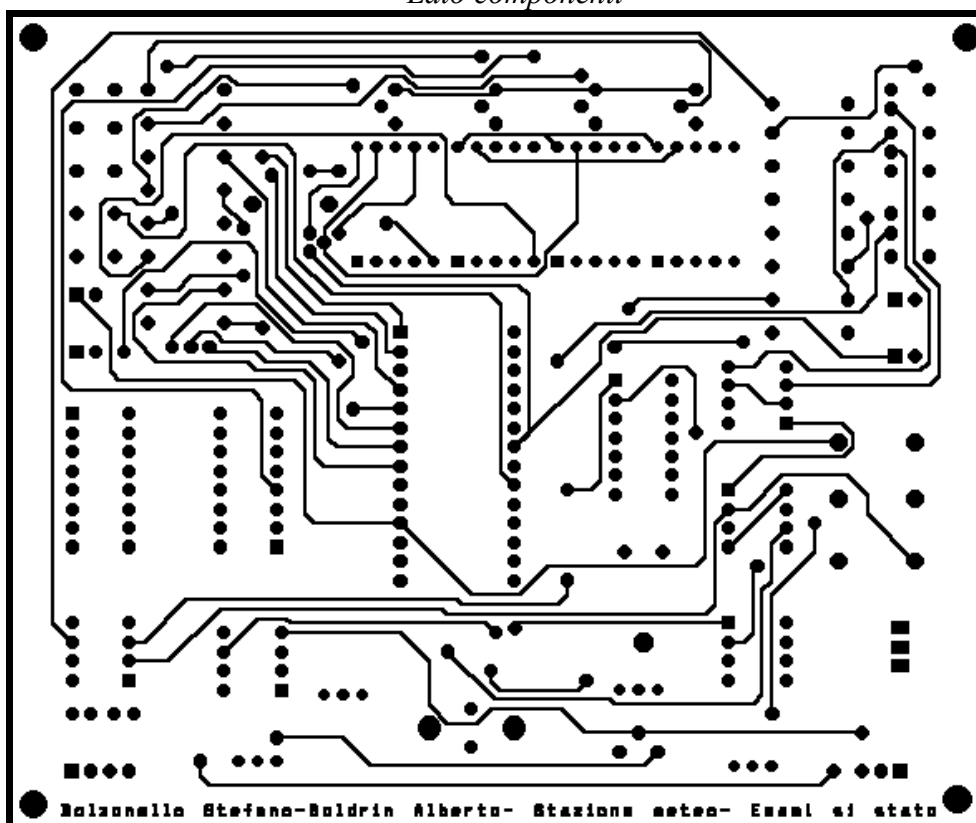
Altra parte molto importante del circuito stampato sono le piazzole. Esse infatti hanno una duplice funzione: elettrica e meccanica; elettrica perché su di esse viene effettuata la connessione elettrica fra i terminali ed il circuito stampato, meccanica perché consentono l'ancoraggio dei componenti al supporto isolante e quindi rappresentano i punti di maggiore sollecitazione meccanica. La forma delle piazzole può essere circolare oppure ovale con un foro centrale. Le dimensioni vanno scelte in funzione del diametro del foro che dovrà ospitare il terminale. E' consigliabile utilizzare le corrispondenze sottoriportate:

Diametro del foro	***Diametro esterno della piazzola***
<0,8	1,9
1	2,2
1,3	2,6

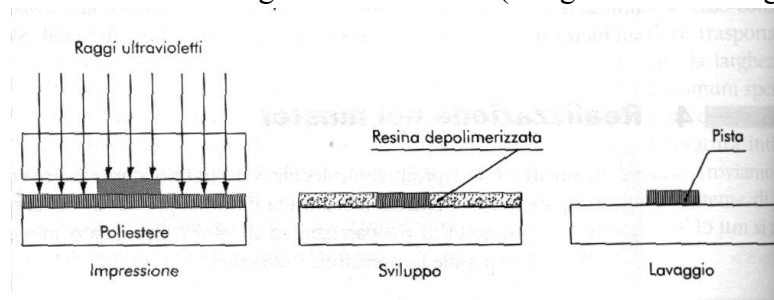
Per le piste conduttrici la dimensione della larghezza va scelta in funzione della corrente che devono sopportare. Spesso le correnti sono molto piccole, come nel nostro caso (ordine di qualche decina di mA) per cui si tende ad usare piste molto strette per sfruttare meglio lo spazio. Per esempio, nel nostro caso è stata scelta una larghezza pari a 20 mils. Nel caso le correnti superino i 0,5 A viene consigliato l'utilizzo dell'abaco riportato in figura.

Per determinare la larghezza è sufficiente dividere la sezione per lo spessore tenendo conto che i più comuni spessori sono 17,5µm, 35µm e 75µm. Questo abaco consente di scegliere la sezione della pista in funzione della corrente che deve trasportare e della differenza di temperatura fra pista e ambiente.

Nel disporre le piste è opportuno che quando la pista arriva ad una piazzola ci sia allineamento fra la pista ed il centro della piazzola.

Per il disegno del layout e dello sbrogliato, invece di operare manualmente, è stato utilizzato un software idoneo allo scopo: il pacchetto di programmi “Orcad Family Release 9.2 Lite Edition”. Nella pagina seguente vengono riportati i disegni degli sbrogliati del lato rame ed del lato componenti in dimensioni reali.

Lato rame

Lato componenti

Realizzazione del master

Il master è la riproduzione fedele del circuito stampato realizzata su pellicola trasparente. La pellicola è costituita da un supporto di materiale (poliestere) con buone proprietà di trasparenza, su di essa è depositato uno strato sottilissimo (film) di materiale fotosensibile.

Il fotoresist può essere per negativi o per positivi. Il fotoresist per negativi è un materiale plastico che in presenza di raggi ultravioletti si depolimerizza diventando facilmente asportabile (nel caso di questo progetto è stato evidentemente utilizzato un fotoresist per positivi). Usando fotoresist negativo si ottiene u master che è la riproduzione in negativo del circuito stampato, cioè risulta trasparente in presenza di piste e piazzole, se, al contrario si usa un fotoresist positivo se ne ottiene la riproduzione in positivo; per cui le piste risultano opache ed il resto risulta trasparente. Per ottenere il master con il metodo fotografico si usa un'unità di esposizione denominata bromografo contenente una o più lampade a raggi ultravioletti. Per realizzare il master si ritaglia un pezzo di pellicola sensibilizzata pari alle dimensioni della scheda da realizzare e lo si pone a contatto con il foglio dell'artwork (disegno dello sbrogliato). Il sandwich viene posto nel bromografo per l'esposizione ai raggi ultravioletti; segue lo sviluppo ed il lavaggio della pellicola. In figura sono schematizzate le fasi per la produzione del master al positivo. Nella prima fase si sottopone la pellicola all'azione dei raggi che depolimerizzano il fotoresist.

Successivamente si procede allo sviluppo, mediante immersione in un liquido adatto a sciogliere la resina depolimerizzata e si conclude con un lavaggio in acqua corrente. Durante queste operazioni, è importante attenersi scrupolosamente alle istruzioni d'uso dei prodotti adoperati al fine di ottenere un buon risultato finale.

Realizzazione del circuito stampato

Dopo la realizzazione del master si passa alla fase produttiva vera e propria. Come prima operazione si taglia un pezzo di basetta (quadrotto) avente dimensioni leggermente superiori a quelle del circuito stampato da realizzare. Il procedimento per ottenere il circuito stampato può essere di tipo serigrafico o fotografico. Il secondo metodo è simile a quello adottato per la realizzazione del master, pertanto è necessario che il foglio di rame sia ricoperta da uno strato di fotoresist avente caratteristiche chimiche uguali a quelle della pellicola del master. Se il master è positivo si usa un fotoresist positivo, il contrario nel caso di master al negativo. E' importante effettuare una perfetta pulizia della superficie di rame. Sulla superficie pulita ed asciugata viene depositato il fotoresist. Dopo aver steso il fotoresist sula superficie del rame si procede alla fase di impressione, durante la quale il fotoresist viene sottoposto all'azione dei raggi ultravioletti mascherando le zone delle piste e delle piazzole. Durante la fase di esposizione è necessario che il fotoresist delle piste del master siano a diretto contatto con il fotoresist della basetta. Dopo l'esposizione segue lo sviluppo e alla fine di questo si ottiene sul quadrotto il disegno del circuito stampato in cui, il foglio di rame risulta: coperto in corrispondenza delle piste e delle piazzole, scoperto nella parte rimanente. Dopo la fase di sviluppo è consigliabile effettuare un trattamento termico sottoponendo il quadrotto ad una temperatura di 80 °C / 90 °C per un tempo di 5 / 10 minuti. Questa operazione serve a rendere il materiale delle piste più duro e resistente e, quindi in grado di sopportare meglio le sollecitazioni chimico fisiche delle fasi successive. La fase di incisione o corrosione viene eseguita immergendo il quadrotto in un liquido corrosivo a base di cloruro ferrico. Per reazione chimica, il rame a contatto con il liquido viene corroso mentre quello ricoperto dal fotoresist rimane attaccato al quadrotto. E' opportuno tenere sotto controllo il

quadrotto per vedere quando il rame scoperto risulta rimosso completamente. Un tempo eccessivo produca la corrosione anche delle piste perché il liquido le attacca letteralmente.
Accorgimenti per l'incisione:

- *tenere la temperatura del liquido a circa 40 °C;*
- *agitare leggermente il quadrotto per rimuovere il rame corroso dalla sua superficie;*
- *non sporcarsi i vestiti o le mani perché le macchie sono difficilmente eliminabili;*
- *usare attrezzi in materiale plastico perché i metalli vengono corrosi;*
- *il liquido è nocivo e quindi va maneggiato con attenzione, non può essere gettato negli scarichi ma va conservato e consegnato ad aziende autorizzate al riciclaggio.*

Finita l'operazione di incisione è necessario rimuovere la resina che ricopre le piste mediante l'operazione di strippaggio. Essa può essere eseguita in un bagno di soda caustica strofinando con una spugna morbida. In ambiente industriale si adoperano apposite macchine che fanno ruotare le spazzole mentre spruzzano il liquido.

In figura sono rappresentate le diverse fasi per la realizzazione del circuito stampato.
Quando il quadrotto è stato ripulito dai residui di fotoresist si procede alla foratura facendo molta attenzione a centrare con precisione il punto di connessione. Per questa fase esecutiva è stato utilizzato un trapano a colonna di piccole dimensioni provvedendo alla centratura mediante una lente d'ingrandimento. Per il taglio del quadrotto si usano opportune cesoie che consentono un taglio rapido e preciso. Quando il circuito stampato è finito è necessario eseguire su di esso alcuni controlli per verificare se è idoneo al montaggio del componenti. Un primo controllo viene fatto a vista mediante una lente di ingrandimento; e serve a verificare la presenza di difetti evidenti tipo: *piste interrotte* o *corto-circuiti* fra piste parallele.
Quando l'esame a vista non consente un adeguato controllo sulla continuità delle piste o sulla esistenza di corto-circuiti fra piste parallele è opportuno eseguire un controllo mediante un multimetro.

Il montaggio dei componenti

Il montaggio dei componenti è costituito da due fasi: il posizionamento dei componenti e la saldatura.

Durante il posizionamento dei componenti è opportuno adottare i seguenti accorgimenti:

- *posizionare gli integrati facendo attenzione alla posizione del primo piedino;*
- *posizionare i condensatori elettrolitici con la giusta polarità;*
- *posizionare correttamente il catodo dei diodi e la base dei transistor;*
- *sagomare correttamente i terminali dei resistori e di tutti i componenti che hanno i terminali lunghi e allineati con l'asse del componente.*

La saldatura è un processo di lavorazione per mezzo del quale si realizza una connessione rigida di due pezzi metallici ottenuta per mezzo della parziale fusione degli stessi e/o di un terzo materiale d'apporto. La saldatura può essere:

- *autogena;*
- *eterogena.*

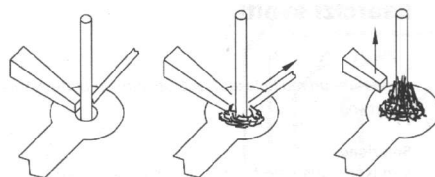
Nella saldatura autogena i materiali da saldare ed il materiale d'apporto hanno temperatura di fusione poco differenti, pertanto durante la saldatura i tre materiali vengono portati a fusione. Con questo procedimento la connessione presenta ottime proprietà di resistenza meccanica.

Nella saldatura eterogena detta anche brasatura, il materiale d'apporto ha un punto di fusione più basso rispetto ai due materiali da saldare, pertanto durante la saldatura fonde solo il materiale d'apporto. La brasatura si suddivide in: *saldobrasatura* e *brasatura per capillarità*. Nel primo caso la temperatura di fusione è abbastanza alta da formare una lega metallica in corrispondenza della saldatura, nel secondo caso il materiale d'apporto fuso penetra per capillarità nei due materiali da unire. La brasatura per capillarità si suddivide in:*brasatura forte* e *brasatura dolce*.

Nella brasatura forte il materiale d'apporto (per esempio bronzo e ottone) hanno una temperatura di fusione molto alta che richiede la fiamma ossiacetilenica per portarlo a fusione.

Nella brasatura dolce viene adoperato come materiale d'apporto una lega stagno-piombo che ha un basso punto di fusione. Quest'ultimo tipo di saldatura è quello che viene adoperato in elettronica per saldare i terminali dei componenti alle piazzole del circuito stampato. Una buona saldatura si ha quando il materiale d'apporto (lega stagno-piombo) penetra parzialmente all'interno dei materiali da saldare, in modo da garantire un sufficiente ancoraggio quando solidifica. Per avere una buona penetrazione è necessario che le superfici dei materiali da saldare siano perfettamente pulite ed alla stessa temperatura del materiale d'apporto fuso. Il materiale d'apporto più comunemente adoperato in elettronica è costituito da una lega eutettica contenente il 62% di stagno ed il 37% di piombo, con temperatura di fusione di 183 °C. Per eseguire manualmente una saldatura è opportuno adoperare alcuni accorgimenti basilari:

- *scegliere un saldatore con punta adatta alle dimensioni del reoforo da saldare;*
- *scegliere un filo per saldare avente la temperatura di fusione ed il diametro adatto al tipo di componente da saldare;*
- *riscaldare il reoforo e la piazzola prima di fondere la lega saldante;*
- *per fondere il filo non appoggiarlo alla punta del saldatore ma al reoforo; dalla parte opposta a quella su cui è poggiata la punta del saldatore;*

Appena la lega saldante si è sciolta staccare il filo e successivamente sollevare la punta del saldatore strisciandola contro il reoforo. Le fasi per la saldatura manuale sono riportate in figura.

APPROFONDIMENTO
OrCad Layout
OrCad Layout è uno strumento particolarmente potente ma non è un programma che "fa i circuiti stampati da solo": per evitare delusioni occorre sapere che passare dallo schema del circuito allo stampato è un lavoro piuttosto lungo ed in cui la fantasia e l'esperienza del progettista giocano un ruolo essenziale.
Un accenno ai costi, purtroppo enormi come per molti software di progettazione elettronica: OrCad Layout costa circa 5000 euro. Per uso didattico circa un decimo. È inoltre disponibile la versione demo che, a partire dalla release 9.0, è usabile per progetti di piccole dimensioni.

Collaudo

Dopo ave saldato tutti i componenti sul la basetta si proceda alla fase successiva, ovvero quella di collaudo. Lo scopo di questa parte operativa è quello di verificare se le prestazioni dell'apparecchiatura corrispondono con quelle previste dalle specifiche tecniche e verificare le prestazioni tecnico-funzionali. Inoltre ci permette di verificare se la fase di sbrogliatura è stata eseguita correttamente. Gli strumenti utilizzati sono: oscilloscopio, generatore di funzioni ed alimentatore variabile.
La fase di collaudo è stata eseguita in diverse fasi:

- CONTROLLO VISIVO DEL PCB;
- TEST DI ALIMENTAZIONE;
- TEST DI RESET;
- ANALISI A BLOCCHI DEL CIRCUITO;
- VISUALIZZAZIONE SU DISPLAY.

Controllo visivo del PCB:
In questa fase sono state controllate tutte le piste presenti nel circuito stampato facendo riferimento allo sbrogliato per verificare l'eventuale presenza di corto circuiti non voluti o piste interrotte. Prima di saldare i componenti si controlli che la sbrogliatura coincida con lo schema elettrico. Per rendere più facile questa fase di collaudo è stata utilizzata una lampada ed una lente d'ingrandimento.

Test di alimentazione:
Per questa fase di collaudo sono stati usati il multimetro e l'alimentatore variabile. L'alimentazione che è stata applicata al dispositivo è di ±12 V. Lo scopo di questa parte è quello di verificare che arrivi l'alimentazione in ogni parte richiesta dallo schema elettrico attraverso l'utilizzo del multimetro; stessa cosa vale per i punti di massa del circuito, utilizzando come riferimento la tabella delle alimentazioni riportata nel disegno dello schema elettrico.

Analisi a blocchi del circuito:
A questo punto si inseriscano negli zoccoli tutti gli integrati esclusi i display e il microcontrollore e si controlli le uscite dei vari blocchi funzionali del circuito. Infine si inseriscano anche i display ed il microcontrollore e si verifichi il funzionamento corretto del dispositivo.

Taratura

La taratura del dispositivo è una delle parti più delicate della parte realizzativa del dispositivo ed è possibile includerla nella fase di collaudo in quanto, sapendo che gli ingressi analogici del microcontrollore accettano valori di tensione soltanto fino a 5 V, si evitano eventuali danni a tali ingressi.

La taratura si suddivide, a sua volta, in altre 3 fasi esecutive:

1. *Taratura del circuito per la misurazione della pressione atmosferica*; in questa fase si regoli la tensione in ingresso al 27° piedino del microcontrollore (agendo sul trimmer R_{19}) ad un valore pari a:

$$V_{REG} = \frac{V_{MAX}}{P_{MAX}} * P$$

dove:
V_{MAX}=5 V, tensione massima accettabile dal piedino d'ingresso del microcontrollore;
P_{MAX}=1,2 atm, pressione di fondoscala del dispositivo al quale valore si vogliono far coincidere 5 V;
P= pressione rilevata da un barometro al momento della taratura.

2. *Taratura del circuito per la misurazione della pressione atmosferica*; in questa fase si regoli la tensione in ingresso al 26° piedino del microcontrollore (agendo sul trimmer R_3) ad un valore pari a:

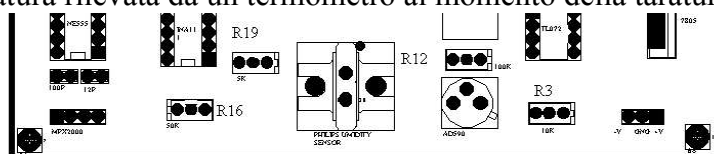
$$V_{REG} = \frac{V_{MAX}}{U_{MAX}} * U$$

dove:
V_{MAX}=5 V, tensione massima accettabile dal piedino d'ingresso del microcontrollore;
U_{MAX}=90%, umidità relativa di fondoscala del dispositivo al quale valore si vogliono far coincidere 5 V;
U= umidità relativa rilevata da un igrometro al momento della taratura.

3. *Taratura del circuito per la misura della temperatura*; è la fase più difficile della fase di taratura. Si seguano i passi sottoriportati:

- si ponga il sensore di temperatura a -20 °C;
- si regoli, agendo sul trimmer R_{16}, la tensione presente sul piedino 28 del microcontrollore affinché sia pari a 0V;
- si ponga il sensore a temperatura ambiente;
- si regoli, agendo sul trimmer R_{12}, la tensione presente sul piedino 28 del microcontrollore affinché sia pari a:

$$V_{REG} = \frac{V_{MAX}}{T_{MAX} - T_{MIN}} * T$$

V_{MAX}=5 V, tensione massima accettabile dal piedino d'ingresso del microcontrollore;
T_{MAX}=70 °C, temperatura di fondoscala del dispositivo al quale valore si vogliono far coincidere 5 V;
T_{MIN}=-20 °C, temperatura di fondoscala del dispositivo al quale valore si vogliono far coincidere 0 V.
T= temperatura rilevata da un termometro al momento della taratura.

Preventivo di vendita

N°	Quantità cad.	Quantità tot.	Descrizione	Costo cad.	Costo compl.
1	1	10	Condensatore ceramico 12pF; passo 2,5 mm	0,13	1,3
2	1	10	Condensatore ceramico 100pF; passo 2,5mm	0,17	1,7
3	5	50	Condensatore al poliestere 10nF; passo 2,5 mm	0,9	9
4	1	10	Condensatore ceramico 470pF; passo 2,5mm	0,22	2,2
5	1	10	Condensatore al poliestere 1u; passo 2,5 mm	0,43	4,3
6	1	10	Condensatore al poliestere 1nF; passo 2,5 mm	0,22	2,2
7	2	20	Condensatore ceramico 33pF; passo 2,5 mm	0,44	4,4
8	1	10	Sensore di umidità Philips 2322-691-90001	9,48	94,8
9	1	10	Condensatore elettrolitico 10uF; passo 2,5 mm	0,12	1,2
10	1	10	Condensatore elettrolitico 1uF; passo 2,5 mm	0,1	1
11	2	20	Condenzatore elettrolitico 100uF; passo 2,5 mm	0,24	2,4
12	3	30	Diodo 1N4148	0,15	1,5
13	4	40	Display ad anodo comune	5,96	59,6
14	1	10	Diodo LED rettangolare	0,25	2,5
15	1	10	Sensore di pressione MPX2000	10,47	104,7
16	4	40	Transistor PNP BC327	0,44	4,4
17	2	20	Rete resistiva 330	1,6	16
18	2	20	Resistenza 820k	0,16	1,6
19	2	20	Resistenza 1k2	0,14	1,4
20	1	10	Trimmer verticale da 10k	1,49	14,9
21	2	20	Resistenza 10k	0,14	1,4
22	2	20	Resistenza 100k	0,14	1,4
23	1	10	Resistenza 15k	0,07	0,7
24	1	10	Resistenza 470	0,07	0,7
25	1	10	Trimmer verticale da 100k	1,49	14,9
26	4	40	Resistenza 4k7	0,28	2,8
27	1	10	Trimmer verticale da 50k (o 100k)	1,49	14,9
28	1	10	Trimmer verticale da 500 (o 1k)	1,49	14,9
29	3	30	C.I. NE555	1,44	14,4
30	1	10	C.I. TL072	0,78	7,8
31	1	10	C.I. TTL 7486	0,34	3,4
32	1	10	C.I. ST62T65B	10,66	106,6
33	1	10	C.I. 74LS47	1,57	15,7
34	1	10	C.I. 7805	0,84	8,4
35	1	10	Dissipatore	2,64	26,4
36	1	10	Trasduttore di temperatura AD590	5,49	54,9
37	1	10	C.I. INA111	8,05	80,5
38	1	10	Quarzo 8 MHz	6,44	64,4
39	128	1280	Connettori a tulipano	3,84	38,4
40	0,3m	3 m	Cavetti	0,6	6
41	--	1	Bobina stagno 40/60	1,8	1,8
42	--	--	Progettazione	---	110
43	--	--	Realizzazione PCB	---	500
44	--	--	Saldatura componenti	---	15
45	--	--	Collaudo	---	30
			Costo in euro al dispositivo	82,77	
			Costo in euro di 10 dispositivi compresi progettazione, realizzazione PCB, Saldatura componenti, Collaudo	1466,5	

Contratto di compravendita

Venditore		**Acquirente**	
Ditta:	Double Bol	*Ditta:*	Coop. Agricola “Il carro”
Via:	Commercianti, 45B	*Via:*	Libertà, 45A
CAP, Luogo:	30100 Venezia (VE)	*CAP, Luogo:*	20100 Milano (MI)
Telefono:	037-586432	*Telefono:*	02-586432
Data di nascita:	----------	*Data di nascita:*	---------
Carta d'identità No.:	----------	*Carta d'identità No.:*	---------

Oggetto venduto (anche oggetto di acquisto):

Descrizione: Centralina meteo	*Tipo:* 1
Fabbricante: Double Bol	*No.:* 10

Data di fabbricazione: 5/6/2003	*Ultima data di collaudo:* 7/6/2003	*Numero proprietari precedenti:* 0

Entità di vendita, accessori:	Centralina meteorologica per la rilevazione di umidità relativa, pressione atmosferica e temperatura e visualizzazione su display a 4 cifre predisposta per la trasmissione seriale
Difetti noti:	Errore massimo visualizzazione temperatura: ±1.5 °C Errore massimo visualizzazione pressione: ±0,005 atm Errore massimo visualizzazione umidità: ±5%
Ulteriore descrizione, annotazioni:	--------------------------------------

Prezzo di acquisto

Prezzo: 1466,5 EURO	*in lettere:* Millequattrocentosessantasei,50 Euro

☐ Importo ricevuto ☐ Acconto di 500 €. ricevuti

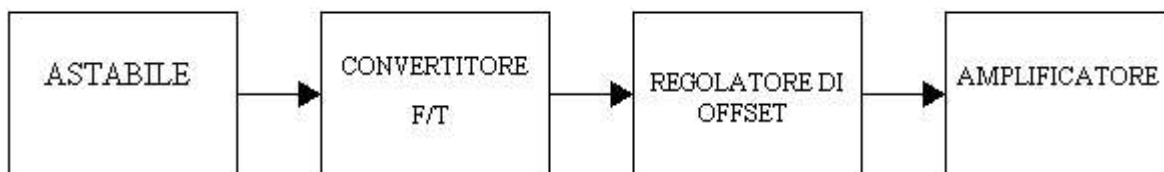
Firma del venditore

All'atto della consegna dell'oggetto di acquisto, l'acquirente riceve i vari elementi indicati dell'entità di vendita. L'oggetto di acquisto è venduto ad esclusione di garanzia. Non si ha alcun diritto di rivendicazione per eventuali difetti rilevati successivamente alla conclusione del contratto a meno che non siano stati taciuti dal venditore rendendosi così colpevole di atto fraudolento. Il venditore asserisce che l'oggetto di acquisto e gli accessori sono di sua libera proprietà. Il venditore assicura che tutte le indicazioni in merito all'oggetto di acquisto sono integre e corrette. L'oggetto di acquisto rimane fino al completamento del pagamento di proprietà del venditore**.**

03/06/03

Luogo, Data *Firma dell'acquirente* *Firma del venditore*

Conclusioni ed eventuali modifiche apportabili

Con questa progetto si è voluto mettere in evidenza la potenzialità dei microcontrollori. Questi circuiti integrati sempre più potenti sono alla base dello sviluppo dei sistemi di elaborazione e di controllo digitale. Il mercato a cui sono normalmente destinati è quello del controllo dei sistemi a bassa complessità come: elettrodomestici, autovetture, apparecchi fotografici... La cosa maggiormente interessante è che il microcontrollore può funzionare correttamente con una ridottissima circuiteria esterna a differenza dei microprocessori che necessitano di memorie e circuiti d'interfaccia. Nel caso specifico di questo progetto la scelta di utilizzare il microcontrollore ci ha permesso di ridurre abbondantemente la circuiteria riguardante l'acquisizione dei dati analogici, l'elaborazione e la visualizzazione (ADC, A-MUX,...).
La parte hardware del circuito che ha richiesto maggiore studio e che risulta leggermente impreciso è la parte riguardante il sensore di umidità ha caratteristiche di linearità molto scarse (5%). Eventuali modifiche possono essere apposte a tale circuito, per esempio uno schema elettrico che rispecchi il sottostante schema a blocchi.

Il soprastante sistema non avrebbe comunque alcun pregio rispetto a quello da noi utilizzato, anzi, potrebbe risultare meno preciso visto che il campo di frequenze in cui l'uscita del monostabile varia è molto ristretto.
Sotto il punto di vista del software sarebbe possibile effettuare una modifica nella parte riguardante la gestione della visualizzazione ovvero sarebbe possibile gestire direttamente la visualizzazione senza ricorrere all'utilizzo del decader-driver per display ad anodo comune 74LS47. Riguardo ai circuiti di misura di temperatura e pressione atmosferica non è apportabile alcun miglioramento in quanto risultano già molto precisi se tarati opportunamente.

ESTRATTI DEI

DATA-SHEET

DEI COMPONENTI UTILIZZATI.

FAIRCHILD

A Schlumberger Company

μA7800 Series 3-Terminal Positive Voltage Regulators

Linear Division Voltage Regulators

Description

The μA7800 series of monolithic 3-terminal positive voltage regulators is constructed using the Fairchild Planar Epitaxial process. These regulators employ internal current-limiting, thermal shutdown and safe-area compensation, making them essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.0 A output current. They are intended as fixed voltage regulators in a wide range of applications including local (on-card) regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition to use as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents.

- **Output Current In Excess Of 1.0 A**
- **No External Components**
- **Internal Thermal Overload Protection**
- **Internal Short Circuit Current-Limiting**
- **Output Transistor Safe-Area Compensation**
- **Available In JEDEC TO-220 And TO-3 Packages**
- **Output Voltages Of 5 V, 6 V, 8 V, 8.5 V, 12 V, 15 V, 18 V, And 24 V**
- **Available In Extended Temperature Range**

Absolute Maximum Ratings

Storage Temperature Range
- TO-3 Metal Can: −65°C to +175°C
- TO-220 Package: −65°C to +150°C

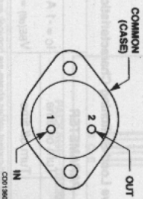
Operating Junction Temperature Range
- Extended (μA7800M): −55°C to +150°C
- Commercial (μA7800C): 0°C to +150°C

Lead Temperature
- TO-3 Metal Can (soldering, 60 s): 300°C
- TO-220 Package (soldering, 10 s): 265°C

Power Dissipation: Internally Limited

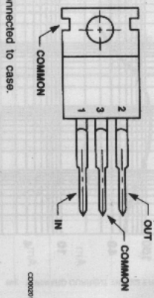
Input Voltage
- 5.0 V to 18 V: 35 V
- 24 V: 40 V

Package	Typ θ_{JC} °C/W	Max θ_{JC} °C/W	Typ θ_{JA} °C/W	Max θ_{JA} °C/W
TO-3	3.5	5.5	35	40

Connection Diagram
TO-3 Package (Top View)

Order Information

Device Code	Package Code	Package Description
μA7805KM	HJ	Metal
μA7806KM	HJ	Metal
μA7808KM	HJ	Metal
μA7812KM	HJ	Metal
μA7815KM	HJ	Metal
μA7818KM	HJ	Metal
μA7824KM	HJ	Metal
μA7805KC	HJ	Metal
μA7806KC	HJ	Metal
μA7808KC	HJ	Metal
μA7812KC	HJ	Metal
μA7815KC	HJ	Metal
μA7818KC	HJ	Metal
μA7824KC	HJ	Metal

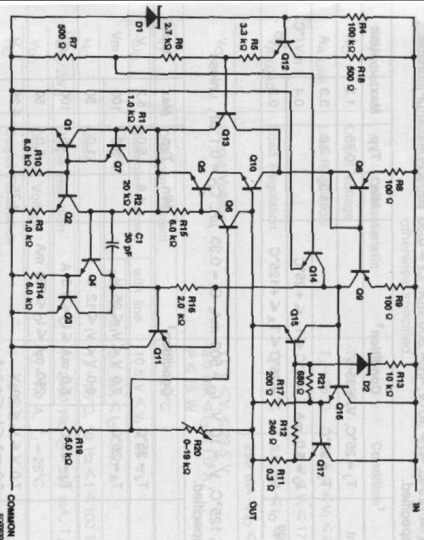
Connection Diagram
TO-220 Package (Top View)

Lead 3 connected to case.

Order Information

Device Code	Package Code	Package Description
μA7805UC	GH	Molded Power Pack
μA7806UC	GH	Molded Power Pack
μA7808UC	GH	Molded Power Pack
μA7812UC	GH	Molded Power Pack
μA7815UC	GH	Molded Power Pack
μA7818UC	GH	Molded Power Pack

Data-sheet 881

μA7800 Series

Equivalent Circuit

μA7805

Electrical Characteristics $-55°C \leq T_A \leq 125°C$, $V_I = 10$ V, $I_O = 500$ mA, $C_I = 0.33$ μF, $C_O = 0.1$ μF, unless otherwise specified.

Symbol	Characteristic	Condition[1]		Min	Typ	Max	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25°C$		4.8	5.0	5.2	V
$V_{R\ LINE}$	Line Regulation	$T_J = 25°C$	$7.0\ V \leq V_I \leq 25\ V$		3.0	50	mV
			$8.0\ V \leq V_I \leq 12\ V$		1.0	25	
$V_{R\ LOAD}$	Load Regulation	$T_J = 25°C$	$5.0\ mA \leq I_O \leq 1.5\ A$		15	100	mV
			$250\ mA \leq I_O \leq 750\ mA$		5.0	25	
V_O	Output Voltage	$8.0\ V \leq V_I \leq 20\ V$ $5.0\ mA \leq I_O \leq 1.0\ A$ $P \leq 15\ W$		4.65		5.35	V
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25°C$			4.2	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change — with line	$8.0\ V \leq V_I \leq 25\ V$				0.8	mA
	Quiescent Current Change — with load	$5.0\ mA \leq I_O \leq 1.0\ A$				0.5	
N_O	Noise	$T_A = 25°C$, $10\ Hz \leq f \leq 100\ kHz$			8.0	40	μV/V_O

Red GaAsP 0.5-Inch 7-Segment Numeric LED Displays

Optoelectronic Products

FND500, FND507 FND560, FND567

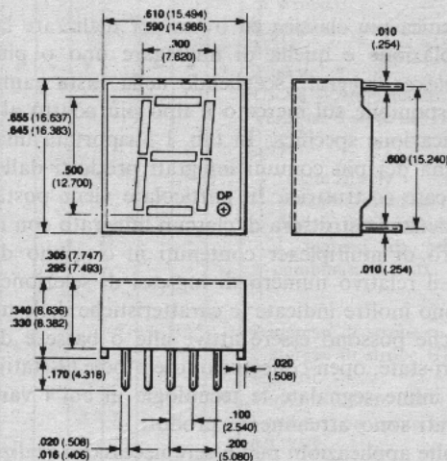
General Description

The FND500, FND507, FND560 and FND567 are red GaAsP single-digit 7-Segment LED displays with a 0.5-inch character height. These displays are designed for applications in which the viewer is within twenty feet of the display.

- **Low Forward Voltage—Typically V_F = 1.7 V**
- **Fits Standard DIP Sockets with 0.6-Inch Pin Row**
- **Maximized Contrast Ratio With Integral Lens Cap**
- **Horizontal Stacking 0.6-Inch Minimum, 1-Inch Typical**
- **FND560/567 Suitable For Use In High Ambient Light**
- **FND500 Common Cathode, Right-Hand Decimal Point**
- **FND507 Common Anode, Right-Hand Decimal Point**
- **FND560 Common Cathode, Right-Hand Decimal Point, High Brightness**
- **FND567 Common Anode, Right-Hand Decimal Point, High Brightness**

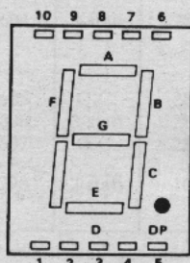
Maximum Voltage and Currents

V_R	Reverse Voltage	3.0 V
I_F	Average Forward dc Current/Segment or Decimal Point	25 mA
	Derate from 25°C Ambient Temperature	0.3 mA/°C
I_{pk}	Peak Forward Current Segment or Decimal Point (100 µs pulse width) 1000 pps, T_A = 25°C	200 mA

Package Outline

Notes

All dimensions in inches bold and millimeters (parentheses)

Tolerance unless specified = ±.015 (±.381)

Pin Connections (Front View)

Pin	FND507/567	FND500/560
1	Segment E	Segment E
2	Segment D	Segment D
3	Common Anode	Common Cathode
4	Segment C	Segment C
5	Decimal Point	Decimal Point
6	Segment B	Segment B
7	Segment A	Segment A
8	Common Anode	Common Cathode
9	Segment F	Segment F
10	Segment G	Segment G

Electrical and Radiant Characteristics T_A = 25°C

Symbol	Characteristic	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
V_F	Forward Voltage	1.5	1.7	2.0	V	I_F = 20 mA
BV_R	Reverse Breakdown Voltage	3.0	12		V	I_R = 1.0 mA
I_O	Axial Luminous Intensity, Average Each Segment					
	FND500, FND507	300	600		µcd	I_F = 20 mA
	FND560, FND567	740	1200		µcd	I_F = 20 mA
ΔI_O	Intensity Matching, Segment-to-Segment		±33		%	I_F = 20 mA
	Intensity Matching Within One Intensity Class		±20		%	I_F = 20 mA, all segments at once
L_O	Average Segment Luminance					
	FND500, FND507		35		ftL	I_F = 20 mA
	FND560, FND567		70		ftL	I_F = 20 mA
$\theta_{1/2}$	Viewing Angle to Half Intensity		±27		degrees	
λ_{pk}	Peak Wavelength		665		nm	I_F = 20 mA